

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra dopravního stavitelství

**Protihluková opatření na regionálních tratích**  
**Measures to Noise Redukce on Regional Rail Lines**

Student:

**Bc. Vojtěch Buchta**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Leopold Hudeček, Ph.D.**

Ostrava 2010

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevздáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## **Anotace diplomové práce**

Buchta V. *Protihluková opatření na regionálních tratích.*

Diplomová práce. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební, 2010.

Diplomová práce se zabývá protihlukovými opatřeními na regionálních tratích. Úvodní teoretická část pojednává o vzniku, šíření a útlumu hluku, jeho fyzikální podstatou a účinky na člověka. Jsou zde podrobně rozebrána jednotlivá protihluková opatření, včetně vyhodnocení jejich efektivity z praxe. Praktická část pak obsahuje variantní návrh řešení dvou konkrétních lokalit – Opavy Kylešovic a Albrechtic u Českého Těšína, včetně situací, charakteristických příčných řezů a vizualizací. Součástí práce je i variantní posouzení a závěrečné doporučení.

This thesis deals with the insulation measures on regional rails. Preliminary theoretical part deals with the origin, propagation and attenuation of noise, its physical nature and effect on people. There are in detail examined the various noise abatement measures, including evaluation of their effectiveness in practice. The practical part includes various suggestions for solutions to two specific localities - Opava Kylešovice and Albrechtice u Českého Těšína, including situations, typical cross sections and visualization. The thesis also includes alternative assessments and final recommendations.

## Obsah diplomové práce:

Seznam použitého značení	8
<b>1 Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2 Hluk jako faktor životního prostředí</b>	<b>10</b>
2.1 Nutnost boje proti nadměrnému hluku	10
2.2 Působení hluku na člověka	11
2.3 Důsledky působení hluku na lidský organismus	13
<b>3 Základní hlukové pojmy a vlastnosti</b>	<b>15</b>
3.1 Vlastnosti zvuku	15
3.2 Specifické hladiny hluku	16
3.2.1 Ekvivalentní hladina hluku	16
3.2.2 Hladina hlukové expozice SEL	17
3.2.3 Procentní hladiny zvuku $L_N$	18
3.2.4 Sčítání hladin hluku	18
<b>4 Legislativa a hlukové limity</b>	<b>20</b>
4.1 Hlukové limity ve stavbách pro bydlení a ve stavbách občanského vybavení	20
4.2 Hlukové limity ve venkovním prostoru	21
<b>5 Šíření hluku</b>	<b>23</b>
5.1 Šíření hluku ve volném prostoru	23
5.2 Šíření hluku přes překážky	24
5.2.1 Ohyb zvuku	24
5.2.2 Odraz a lom zvuku	25
5.2.3 Přejítí zvuku přes překážku	26
5.3 Šíření hluku v reálném plynném prostředí	27
5.3.1 Útlum zvuku vlivem absorpce ve vzduchu	27
5.3.2 Útlum zvuku vlivem větru, mlhy, deště, sněhu a teplotních gradientů	28
5.3.3 Útlum zvuku vlivem vzdálenosti mezi příjemcem a zdrojem	29
5.3.4 Útlum zvuku vlivem pohltivosti terénu	30
<b>6 Hluk z železniční dopravy</b>	<b>32</b>
6.1 Hluk valivý	34
6.2 Hluk kvílivý	35
6.3 Hluk nárazový (impaktní)	37
<b>7 Aktivní protihluková opatření</b>	<b>38</b>
7.1 Urbanistická opatření	38
7.2 Architektonická opatření	39
7.3 Dopravně-organizační opatření	40
7.4 Technická opatření na vozidle	41
7.4.1 Tlumiče na kole	41

7.4.2	Nekovové brzdové špalíky	43
7.5	Technická opatření na jízdní dráze	45
7.5.1	Mazníky	45
7.5.2	Úprava jízdní dráhy	46
<b>8</b>	<b>Pasivní protihluková opatření</b>	<b>52</b>
8.1	Protihlukové valy	52
8.2	Pásky zeleně	53
8.3	Protihlukové stěny	54
8.3.1	Pohltivý povrch stěn	55
8.3.2	Zvukotechnické parametry stěn	55
8.3.3	Protihlukové stěny PMMA	56
8.3.4	Konkrétní lokalita užití protihlukové zdi – Ostrava Bartovice	58
8.4	Absorbéry na koleji	60
8.4.1	Provádění	60
8.4.2	Údržba absorbérů a železničního svršku	61
8.4.3	Srovnávací zkouška absorbérů	63
8.4.4	Vyhodnocení zkoušky	67
8.5	Protihluková konstrukce oken	68
<b>9</b>	<b>Albrechtice u Českého Těšína</b>	<b>69</b>
9.1	Situace a stávající stav	69
9.2	Varianta č. 1 – protihluková stěna	70
9.2.1	Návrh	70
9.2.2	Hodnocení	71
9.3	Varianta č. 2 – rekonstrukce jízdní dráhy a instalace absorbérů	72
9.3.1	Návrh	72
9.3.2	Hodnocení	72
9.4	Varianta č. 3 – snížení rychlosti	73
9.4.1	Návrh	73
9.4.2	Hodnocení	73
9.5	Varianta č.4 – protihluková opatření na budově	73
9.5.1	Návrh	73
9.5.2	Hodnocení	73
<b>10</b>	<b>Opava Kylešovice</b>	<b>75</b>
10.1	Situace a stávající stav	75
10.2	Varianta č.1 – zemní val	76
10.2.1	Návrh	76
10.2.2	Hodnocení	76
10.3	Varianta č.2 – obnova železničního svršku	77
10.3.1	Návrh	77
10.3.2	Hodnocení	77

10.4 Varianta č. 3 - zeleň	77
10.4.1 Návrh	77
10.4.2 Hodnocení	78
10.5 Varianta č.4 – obnova vozového parku	79
10.6 Varianta č.5 – protihluková zeď	80
10.6.1 Návrh	80
10.6.2 Hodnocení	80
<b>11 Závěr</b>	<b>83</b>
Seznam použitých pramenů	84
Seznam příloh	86

## Seznam použitého značení

Hz	hertz (jednotka frekvence)
kHz	kilohertz (jednotka frekvence)
cm	centimetr (jednotka délky)
mm	milimetr (jednotka délky)
dB	decibel (jednotka pro měření hladiny intenzity zvuku)
hPa	hektopascal (jednotka tlaku)
km/h	kilometr za hodinu (jednotka rychlosti)
resp.	respektive
např.	například
atd.	a tak dále
Ar	argon
SF <sub>6</sub>	hexafluorid síry
PMMA	polymethylmetakrylát
ŽOS Zvolen	Železniční opravovny a strojírny a.s.



# 1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá vznikem, šířením a účinky hluku z železniční dopravy a jeho možnou eliminací. V úvodní části je popsán hluk jako faktor životního prostředí, jeho působení na člověka a důsledky, které toto působení může způsobit. Dále se tato práce zabývá fyzikální podstatou zvuku, jeho měřením a prací s hlukovými veličinami. Následující kapitola zmiňuje základní legislativu a definuje limity pro hluk z dopravy. Dále je řešena problematika šíření hluku v reálném prostředí v závislosti na povrchu terénu, klimatických podmínkách a dalších faktorech, ohyb, lom a odraz zvuku a šíření zvukových vln přes překážky. Podrobněji je řešena problematika hluku vyvolaného železniční dopravou a jeho šíření. Následující kapitoly jsou pak věnovány protihlukovým opatřením z několika úhlů pohledu. Nejrozsáhlejší část je pak věnována technickým opatřením na vozidle a na jízdní dráze a pasivním protihlukovým technologiím.

V praktické části jsou pak řešeny dvě konkrétní lokality – Opava Kylešovice a Albrechtice u Českého Těšína. U každé z těchto oblastí je popsán současný stav (konfigurace terénu, skladba trati a její stav, zástavba, provoz na trati) a navrženo několik variant eliminace hluku z železniční dopravy. V závěru jsou pak varianty zhodnoceny a je doporučeno optimální řešení.

## 2 Hluk jako faktor životního prostředí

Pod pojmem zvuk si obecně představujeme každé mechanické vlnění o frekvenci přibližně 16 Hz až 20000 Hz v látkovém prostředí (v plynu, kapalině a v pevné látce), které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem. Zvuk je pak přirozeným projevem jevů v přírodě a aktivity člověka. Vnímání a interpretace tohoto vjemu je pak jedním z nejbohatších informačních zdrojů člověka i jiných živočichů a účinným poplašným systémem. Termínem „hluk“ pak označujeme každý nežádoucí zvuk a proto jej nelze ve fyzice exaktně definovat. Při posuzování, co je a co není hluk velmi záleží na subjektivních poznatcích jednotlivce. Pro někoho může být daný zvuk nepříjemným sluchovým vjemem - tedy hlukem, pro jiného může tento zvuk představovat zdroj důležitých informací. Protihlukovými opatřeními se pak nesnažíme eliminovat hluk jako takový, ale bojujeme proti zbytečně silnému hluku, který rozptyluje a ruší člověka, nebo má dokonce negativní vliv na jeho zdravotní stav. [1, 5, 6]

### 2.1 *Nutnost boje proti nadměrnému hluku*

Mezi důležité vlastnosti zvuku patří, že se šíří na poměrně velké vzdálenosti, může se odrážet a lomit a za určitých okolností i ohýbat. Rovněž se může šířit nejen vzduchem (plynem), ale i kapalinou a pevnou látkou. Hluk tedy může působit na každého, kdo se nachází v dosahu šíření jeho energie, tedy i na osoby, které se zdroji hluku nemají nic společného.

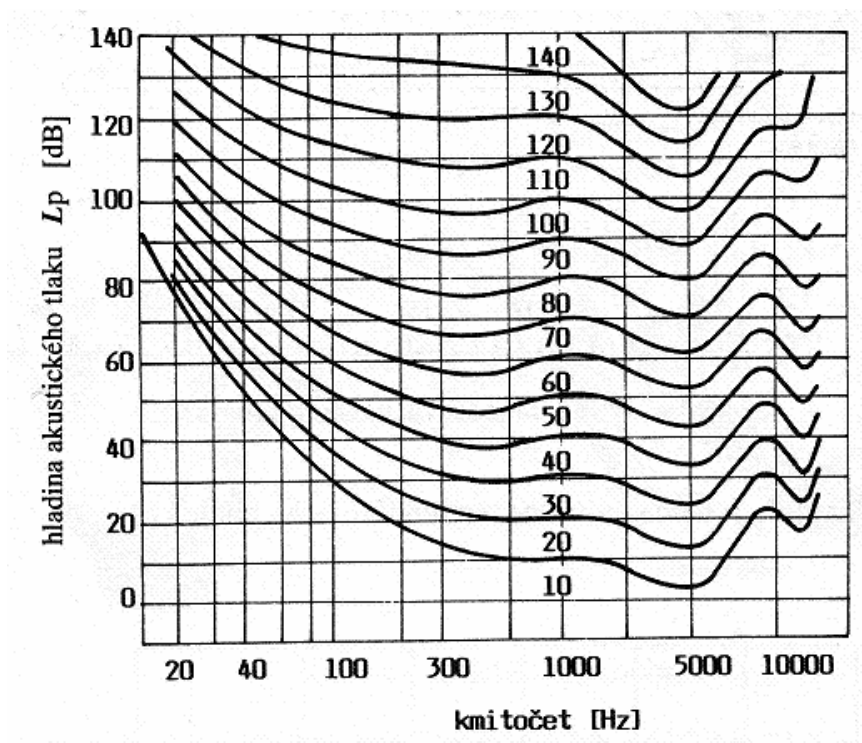
V důsledku odrazu hluku resp. zvuku je situace podstatně horší v uzavřeném a polozavřeném prostranství - např. v ulicích města. Hluku vyvolanému dopravou jsou pak vystaveny i osoby v budovách a okolních prostorech, které daný dopravní prostředek nevyužívají. V otevřené krajině však na druhou stranu dokáže jeden dopravní prostředek zamořit hlukem území o ploše několika čtverečních kilometrů.

Z hlediska ochrany životního prostředí je rozhodně smysluplné a žádoucí eliminovat vznik a šíření hluku, a to z důvodu negativních vlivů, které expozice nadměrným hlukem nese. Důsledky hluku nejsou sice tak „hmatatelné“, jako je například chemické znečištění vzduchu, vod a půdy, ale jeho nebezpečnost byla zdravotně prokázána a to nejen v případech, kdy došlo ke snížení citlivosti sluchu nebo dokonce k celkové hluchotě. Hlučnost v životním prostředí roste s pokračující technizací v takové míře, že se častokrát vymyká technicko-

ekonomickým možností jak udržet rostoucí hlučnost pod přijatelnou hranicí. A to i v případě, že tato hranice překračuje zdravotní únosnost. Nadměrná hluková expozice pak má daleko větší dopady, protože snižuje produktivitu a kvalitu práce. Logicky je rovněž v nadměrném hlukem zasaženém prostředí významně ohrožena bezpečnost práce. Z hlediska sociálně kulturního má snížení hlučnosti úzkou spojitost se zvyšováním životní úrovně, především v oblastech bydlení a trávení volného času. [6, 9]

## 2.2 Působení hluku na člověka

U ostatních fyzikálních jevů (například teplota nebo radioaktivní záření) lze poměrně jednoduše určit hodnotu, která je pro lidský organismus škodlivá. U hluku je situace podstatně složitější. Při sledování hlučnosti prostředí ze zdravotního hlediska, musí být uměle zavedena měřítka, která by udávala míru sluchového vjemu, škodlivosti nebo subjektivně vnímané rušivosti.



Obr. 2.1- Křivky stejné hlasitosti [5]

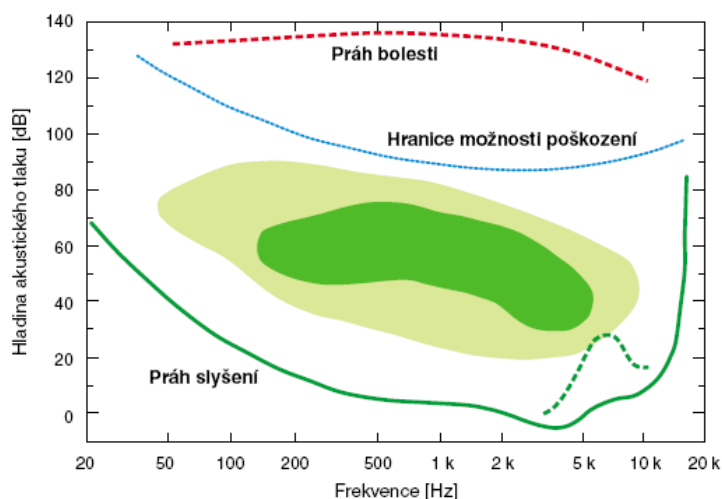
Sluchový orgán totiž nevnímá lineárně všechny veličiny, kterými můžeme zvuk popsat. Hluková měření, jejich interpretace a hodnocení se pak stávají značně složitými.

Hluky stejných hlasitostí, ale o různých frekvencích jsou člověkem vnímány jako různě hlasité. Z tohoto důvodu je hluk vyvolaný silniční dopravou, u níž se frekvence významných složek pohybují do 5 kHz, vnímán jako podstatně více rušivý než hluk dopravy železniční, u které frekvence nepřesahují 2 kHz. Co se však týče průmyslového hluku s významnými složkami dokonce i nad 10 kHz, je situace ještě daleko horší. V souvislosti s těmito skutečnostmi byl vytvořen pro posuzování hluku na člověka váhový filtr A, který jednotlivým frekvencím přisuzuje různou váhu podle jejich humánního vnímání. Akustické veličiny upravené tímto filtrem pak označujeme indexem A. Aplikace tohoto filtru je poměrně náročná a je třeba využití speciálních přístrojů popř. software. [6, 9]

Tab. 2.1- Příklady hladin hluku v běžném prostředí<sup>1</sup>

dB	Příklady a vnímání člověkem
0	práh slyšitelnosti
20	hluboké ticho, bezvětrí, akustické studio
30	šepot, velmi tichý byt či velmi tichá ulice
40	tlumený hovor, šum v bytě, tikot budíku
50	klid, tichá pracovna, obracení stránek novin
60	běžný hovor
70	mírný hluk, hlučná ulice, běžný poslech televize
80	velmi silná reprodukováná hudba, vysavač v blízkosti
90	silný hluk, jedoucí vlak
100	sbíječka, přádelna, maximální hluk motoru
110	velmi silný hluk, živá rocková hudba, kovárna kotlů
120	startující proudové letadlo
130	práh bolestivosti
140	akustické trauma, 10 m od startujícího proudového letadla
170	zábleskový granát

<sup>1</sup> Hluk. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, , last modified on 13.7.2010 [cit. 2010-11-07]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Hluk>>.



Obr. 2.2 - Práh slyšení, práh bolesti, hranice možného poškození sluchu a oblasti efektivního sluchového vnímání

V prostředí s nezvykle nízkou hladinou hluku 0 – 30 dB se lidé necítí dobře. Za nepříjemné se rovněž dá označit prostředí, které je zasaženo hlukem o intenzitě 65 dB a vyšší. Při delším pobytu v prostorech s intenzitou hluku nad 80 dB již vznikají trvalé poruchy sluchu. Hladina 130 dB je obecně označována jako práh bolesti, člověk tedy pocítuje velmi intenzivní bolest sluchového orgánu. K protržení ušního bubínku dochází při hluku okolo 160 dB. Expozice nadměrným hlukem je tedy velmi nebezpečná a to zejména i díky dalším okolnostem. Lidský organismus nemá žádné obranné funkce proti tomuto jevu, jako je tomu například u zraku. (Oči můžeme při nepříjemné intenzitě světla zavřít.) Dalším problémem je to, že důsledky působení hluku se neprojeví hned, ale mnohdy až za několik let. Hluk totiž z časem přirozeně degraduje a tento proces se expozicí nadměrným hlukem zrychluje. Na lidský organismus rovněž negativně působí i zvuk o některých frekvencích, které nejsou sluchem vnímatelné. V této souvislosti jsou známy příklady infrazvuku produkovaného větrnými elektrárnami a jeho působení na obyvatele.[6]

## 2.3 Důsledky působení hluku na lidský organismus

Lékařské i statistické studie dokazují, že hluk má negativní vliv na zdraví člověka. Jak již bylo uvedeno výše, sluch prvotně slouží člověku především jako varovný systém. Lidský organismus tedy reaguje na hluk jako na poplašný signál a spouští celou řadu mechanismů. Zvyšuje se krevní tlak, zrychluje se tep, zvedá se hladina adrenalinu, dochází ke stažení periferních cév a ztrátě hořčíku, atd. Expozice v hlučném prostředí pak může mít poměrně

významný vliv na psychiku jednotlivce a často způsobuje únavu, depresi, rozmrzelost, agresivitu, neochotu, zhoršení paměti, ztrátu pozornosti a celkové snížení výkonnosti. Dlouhodobé expozice nadměrnému hluku pak způsobuje hypertenzi (vysoký krevní tlak), poškození kardiovaskulárního systému včetně zvýšení rizika infarktu, snížení imunity organismu, chronickou únavu a nespavost. Statisticky bylo prokázáno, že výskyt civilizačních chorob přímo vzrůstá s hlučností daného prostředí. Hluk má negativní vliv na člověka i když člověk spí. Hluk pak snižuje kvalitu i hloubku spánku. Dlouhodobě se to pak projevuje již zmíněnou trvalou únavou.

Nejznámějším důsledkem nadměrného hluku je pochopitelně poničení sluchu. K němu dochází při častém a dlouhodobém vystavování hluku nad 85 dB (např. velmi hlasitá hudba), popřípadě při krátkodobé expozici hluku přesahujícím 130 dB (o něco větší hluk, než vydává startující letadlo) – tyto situace s sebou přináší poškození, které je již nevratné. K poškození sluchu ale může stačit i dlouhodobé expozice hluku nad 70 dB, což je běžná úroveň hluku podél hlavních silnic. Oproti minulým letem již není za hlavní příčinu ztráty sluchu v současné době považováno stárnutí, ale právě hluková zátěž.

Mimo to, že by si měl každý člověk ve svém vlastním zájmu chránit svůj sluch před nadměrným hlukem, o snížení hlukové zátěže na únosnou míru je na základě zákona povinen starat se i stát v rámci péče o veřejné zdraví. [6, 9]

### **Hluk a lidé v číslech<sup>2</sup>:**

- až **40% evropské populace** je vystaveno takové míře hluku, která může způsobit škody na zdraví
- **100.000.000 obyvatel** EU je zasaženo nadlimitním hlukem přesahujícím 65 decibelů
- škody způsobené hlukem v rámci Evropské unie se odhadují na **13 až 28 miliard euro**
- v **Praze** je nadlimitním hlukem zasaženo kolem **7,6 % obyvatel**, tedy **přes 90.000 lidí**
- asi **200.000 obyvatel Berlína** žije v ulicích, kde jsou **překročeny limity pro hluk**
- dle nedávných studií je **kvůli hluku z dopravy v Dánsku ročně hospitalizováno 800-2200 osob** a dochází ke **200-500 samovolným potratům**
- v Evropě je dlouhodobý vliv dopravního hluku příčinou tří procent všech úmrtí na srdeční selhání

---

<sup>2</sup> *Hluk a emise* [online]. 2007 [cit. 2010-11-06]. [Http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/](http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/).

## 3 Základní hlukové pojmy a vlastnosti

### 3.1 Vlastnosti zvuku

Jak již bylo dříve uvedeno, podstatou zvuku je mechanické kmitání pružného prostředí, které se šíří určitým prostředím určitou rychlostí. Zvuk se šíří v pevných látkách, kapalinách i plynech ve formě podélného i příčného akustického vlnění. V rozsahu slyšitelných frekvencí, tedy 16 Hz – 20 kHz, je označováno podélné vlnění v plynném a kapalném prostředí jako **zvuk**. Příčné vlnění v tuhých látkách v celém frekvenčním spektru nazýváme **vibrace**. Částice prostředí se šířícím rozruchem vychylují z klidové polohy a tak se v určitých částech homogenního pružného prostředí hustota části zvětšuje a zmenšuje. Tímto jevem se např. ve vzduchu mění tlak oproti své statické hodnotě, tedy atmosférickému tlaku. Tato proměnná nadstavba atmosférického tlaku se nazývá **akustický tlak**. Křivka spojující místa se stejným akustickým tlakem se pak nazývá **izofona**.

Subjektivní sluchový vjem se nemění v závislosti na intenzitě lineárně, ale jeho růst se řídí logaritmickým zákonem (velké změny velkých podnětů způsobují jen malé změny vjemů). Akustické veličiny se tak často mění v běžné praxi o několik řádů, proto by bylo jejich vyjadřování pomocí klasických jednotek tlaku velmi nepraktické. Proto byl zaveden pojem **hladin** akustických veličin, jejichž jednotkou je decibel [dB].

**Hladina akustického tlaku** je pak definovaná vztahem :

$$L_p = 10 \log \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 \quad [dB] \quad /3.1/$$

kde  $L_p$  je hladina akustického tlaku v dB;

$p(t)$  je střední kvadratická hodnota akustického tlaku v Pa;

$p_0$  je referenční akustický tlak;  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ;

Další charakteristikou zvuku je **rychlost šíření zvukové vlny  $c$  [ $\text{m.s}^{-1}$ ]**, která je závislá na teplotě, hustotě prostředí a dalších faktorech. Ve vzduchu, při teplotě 20°C a atmosférickém tlaku 1013 hPa, se zvuková vlna šíří rychlostí 343  $\text{m.s}^{-1}$ . V některých kapalinách a pevných látkách (včetně stavebních materiálů) se však může zvuk šířit podstatně rychleji, v polymerech a vláknitých materiálech pro změnu pomaleji. Jelikož je šíření zvuku realizováno vzájemnou interakcí mezi částicemi hmoty, neprobíhá toto šíření ve vakuu.[6]

Tab. 3.1- Příklady rychlosti zvuku v různém prostředí

Látka	Rychlost zvuku [m.s <sup>-1</sup> ]
Voda (25°C)	1500
Beton	1700
Led	3200
Ocel	5000
Sklo	5200

Pro každé vlnění je možné definovat jeho **vlnovou délku**  $\lambda$  [m], vyjadřující vzdálenost dvou míst s amplitudou. Vlnová délka je pak nepřímo úměrná frekvenci  $f$  [Hz] a přímo úměrná rychlosti šíření zvukové vlny  $c$  [m.s<sup>-1</sup>].

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m] \quad /3.2/$$

Orientační hodnota vlnové délky zvuku ve vzduchu je pro frekvenci 1 kHz 0,34 m, pro 0,1 kHz je to už ale 3,43 m.

Poslední akustickou veličinou pro popis hlukové události je **doba trvání** [s]. **Časovým záznamem** nebo také **signálem** nazýváme zobrazení hladin hluku v závislosti na čase. Zobrazení hladin hluku v závislosti na frekvenčním složení pak nazýváme **spektrum**. [6]

## 3.2 Specifické hladiny hluku

Na obr. 2.3 je akustický záznam přejezdu tramvaje, konkrétně závislost hladiny hluku na čase. Relativně snadno lze u takového grafu určit  $L_{\max}$  a  $L_{\min}$ , tyto dvě hodnoty jsou však pro akustické zpracování nedostačující. Z tohoto důvodu jsou pro každý hluk, jehož hladina akustického tlaku se mění o více než 5 dB definovány charakteristické hladiny:

### 3.2.1 Ekvivalentní hladina hluku

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{\tau_1 - \tau_2} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} d\tau \right) \quad [dB] \quad /3.3/$$

kde  $L_p$  je hladina akustického tlaku v dB;

$p(t)$  je střední kvadratická hodnota akustického tlaku v Pa;

$p_0$  je referenční akustický tlak;  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ;

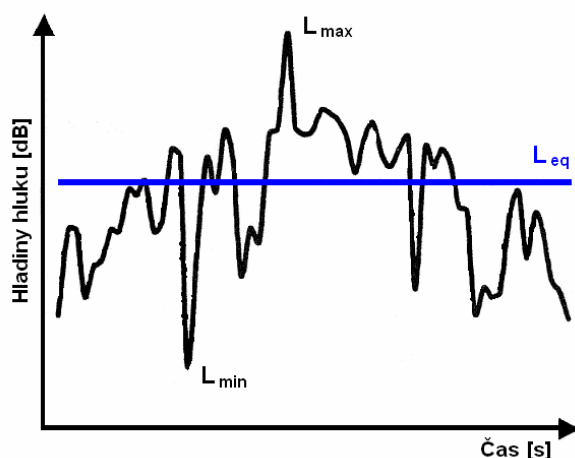


$\tau_1, \tau_2$  je začátek resp. konec uvažovaného časového intervalu v s;

$$\text{resp. } L_{eq} = 10 \log \frac{1}{\sum_{i=1}^n f_i} \sum_{i=1}^n (f_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i}) \quad [dB] \quad /3.4/$$

kde  $L_i$  je střední hladina zvuku v i-tém hladinovém intervalu v dB;

$f_i$  je míra časového výskytu hladiny hluku  $L_i$  z měřeného časového úseku v i-tém hladinovém intervalu [četnost čtení];



Obr. 3.1 - Určení minimální, maximální a ekvivalentní hladiny hluku [6]

### 3.2.2 Hladina hlukové expozice SEL

$$L_E = 10 \log \left( \frac{1}{\tau_0} \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} d\tau \right) \quad [dB] \quad /3.5/$$

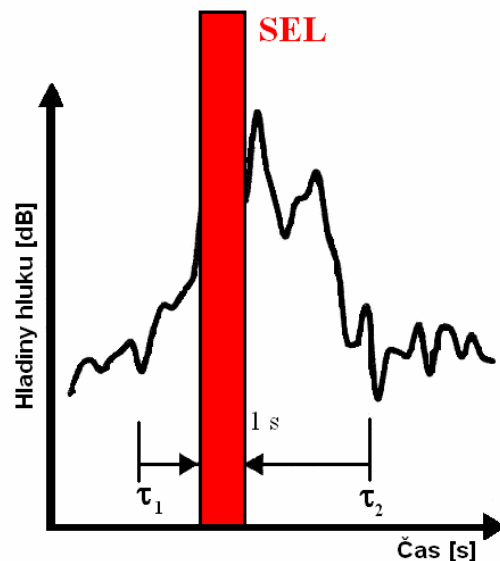
kde  $L_E$  je hladina zvukové expozice v dB;

$p(t)$  je okamžitý akustický tlak A zvukového signálu v Pa;

$p_0$  je referenční akustický tlak,  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ;

$\tau_1, \tau_2$  je začátek resp. konec uvažovaného časového intervalu v s (interval musí být stanoven tak, aby obsáhl veškerý podstatný zvuk posuzované hlukové situace);

$\tau_0$  je referenční časový interval [1 s];



Obr. 3.2 - Určení hladiny hlukové expozice SEL [6]

### 3.2.3 Procentní hladiny zvuku $L_N$

- $L_1$  je hladina zvuku překročená pouze v 1 % z doby daného časového intervalu v dB (ojedinělé špičky)
- $L_{10}$  je hladina zvuku překročená v 10 % z doby daného časového intervalu v dB (časté špičky)
- $L_{50}$  je hladina zvuku překročená v 50 % z doby daného časového intervalu v dB (průměrná hladina)
- $L_{90}$  je hladina zvuku překročená v 90 % z doby daného časového intervalu v dB (pozadí, hlukové klima)
- $L_{99}$  je hladina zvuku překročená v 99 % z doby daného časového intervalu v dB (pozadí)

### 3.2.4 Sčítání hladin hluku

V případě působení více zdrojů hluku, sčítají se jejich akustické energie. Rozhodně tedy neplatí, že pokud zdroj vydává hluk 90 dB a druhý 80 dB bude výsledek 170 dB. Při současném působení dvou zdrojů je výsledná hladina hluku daná výrazem:

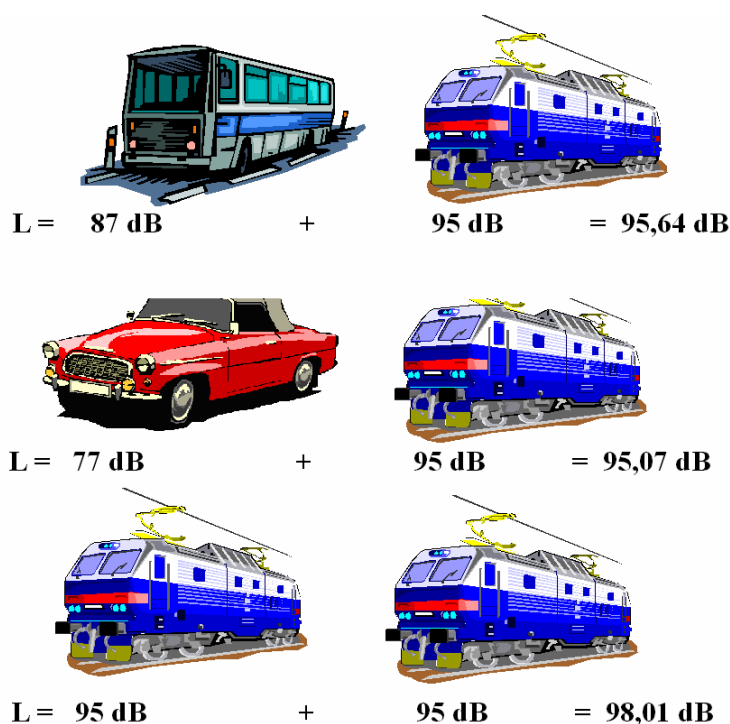
$$L = 10 \cdot \log \left( 10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \right) \quad [dB] \quad /3.6/$$

kde  $L_1, L_2, \dots$  jsou hladiny jednotlivých zdrojů v dB;

Emitují-li dva zdroje hluk a je-li rozdíl jejich hladin větší než 6 dB, zvýší se výsledná hladina hluku o méně než 1 dB. Produkují-li hluk dva různé dopravní prostředky, zvýší se výsledná hladina jen velmi málo. Z hlediska protihlukové urbanistické strategie je výhodné soustředit různé druhy dopravy do dopravních koridorů. Při současném působení stejných zdrojů lze výraz zjednodušit:

$$L = L_z + 10 \cdot \log n \quad [dB] \quad /3.7/$$

kde  $L_z$  je hladina hluku zdroje v dB;  
 $n$  je počet zdrojů;



Obr. 3.3 - Logaritmické sčítání hladin hluku. Zvýší-li se například počet kolejí na dvojnásobek, zvýší se celková hladina hluku pouze o 3 dB

## 4 Legislativa a hlukové limity

Vzhledem k velkému množství směrnic, vyhlášek a norem řešícím problematiku hluku jak na české, tak i evropské úrovni, uvedu pouze stručný přehled těchto legislativních předpisů, nikoli jejich vyčerpávající výčet. Základním regulátorem zabývajícím se hlukem a jeho eliminací je zákon č. 258/2000 Sb. O ochraně veřejného zdraví. Definuje, co je to hluk a jak vzniká a kdo odpovídá za jeho eliminaci a dodržování hygienických limitů. Dalším předpisem je nařízení vlády č. 502/2000 Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. V úvodu jsou rovněž definovány pojmy a vymezeny veličiny, dále určuje metodiku měření a způsob vyhodnocení zvukových zkoušek. V příloze č. 6 pak uvádí korekce pro stanovení nejvyšších přípustných hodnot v chráněném venkovním prostoru a v chráněných vnitřních prostorech staveb. Další nařízení vlády týkající se hluku, je nařízení č. 480 O ochraně zdraví před neionizujícím zářením z roku 2000. Hluku z dopravy se rovněž týká vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR č. 523/2006 Sb. O hlukovém mapování a vyhláška Ministerstva pro místní rozvoj ČR č. 561/2006 Sb. O stanovení seznamu aglomerací pro účely hodnocení a snižování hluku. Bojem proti nadměrnému hluku se ve své legislativě zabývá i Evropská unie. Ta vydala celou řadu směrnic týkajících se tohoto problému, jako základní však uvedu pouze Směrnici EU č. 2002/49/EC O posuzování a regulování hluku v životním prostředí. Na závěr uvedu ještě několik českých technických norem, zabývajících se hlukem. Rovněž i těchto předpisů je celá řada, proto zmíním pouze ČSN ISO 1996 Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí. Speciálně hluk z provozu na železnici řeší rovněž ČSN EN ISO 3095 Měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly. [1, 2, 6, 16]

### **4.1 Hlukové limity ve stavbách pro bydlení a ve stavbách občanského vybavení**

Hodnoty hluku se pro vnitřní prostory staveb vyjadřují jako ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A_{L_{Aeq,T}}$  a maximální hladina akustického tlaku  $A_{L_{Amax}}$ . V denní době se hodnoty hluku stanoví pro osm souvislých a na sebe navazujících nejhluchnějších hodin, v noční době jen pro nejhluchnější hodinu. Výjimku tvoří hluk z dopravy na veřejných komunikacích a železnicích a hluk z leteckého provozu, zde se hodnoty hluku stanoví pro celou denní a noční dobu (viz. § 34 odst. 2 zákona č. 258/2000 Sb.).

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$  se stanoví pro hluk pronikající vzduchem zvenčí součtem (aritmetickým nikoli logaritmickým) základní hladiny akustického tlaku  $L_{Aeq} = 40 \text{ dB}$  a korekcí přihlížejících k využití prostorů a denní době podle tab. 4.1.

Některé subjekty provádějící měření a vyhodnocení hlukové zátěže z dopravy, rozlišují ještě mimo denní doby (6.00 – 22.00 hod.) a noční doby (22.00 – 6.00 hod.), ještě tzv. dobu večerní. Rozdělení intervalů je pak: den - 6.00 – 18.00, večer - 18.00 – 22.00 a noc - 22.00 – 6.00. Tato metodika není zakotvena v žádné zákonné směrnici, umožňuje však objektivnější vyjádření výsledků měření.[6]

Tab. 4.1- Korekce pro stanovení limitů hluku jednotlivých staveb

Druh chráněné místnosti	Doba	Korekce [dB]
Nemocniční pokoje	6.00 - 22.00 22.00 - 6.00	-5 -15
Ordinace	po dobu užívání	-5
Operační sály	po dobu užívání	0
Obytné místnosti včetně kuchyní, hotelové pokoje	6.00 - 22.00 22.00 - 6.00	0 -10
Přednáškové sály, učebny a ostatní místnosti škol, předškolních zařízení a školních zařízení, koncertní sály, kulturní střediska	po dobu užívání	+10
Čekárny, vestibuly veřejných úřadoven a kulturních zařízení, kavárny, restaurace	po dobu užívání	+15
Prodejny, sportovní haly	po dobu užívání	+20
<p>- Pro jiné prostory, v tabulce jmenovitě neuvedené, platí hodnoty pro prostory funkčně podobné.</p> <p>- Způsob užívání stavby je dán kolaudačním rozhodnutím a uvedené limity se nevztahují na hluk způsobený používáním chráněné místnosti (např. hluk hostů).</p> <p>- Nechráněné místnosti staveb jsou skladovací a komunikační prostory, sociální příslušenství (např. záchody, koupelny, komory), šatny, archivy, haly a vestibuly dopravních zařízení a další prostory staveb.</p> <p>- Obsahuje-li hluk výrazné tónové složky nebo má-li výrazný informační charakter, jako například řeč nebo hudba, přičítá se další korekce - 5 dB.</p>		

## 4.2 Hlukové limity ve venkovním prostoru

Nejvyšší přípustné hodnoty hluku v chráněném venkovním prostoru a v chráněných venkovních prostorech staveb stanoví § 11 nařízení vlády. Hodnoty hluku se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $A$   $L_{Aeq}$ , přičemž se v denní době stanoví pro osm souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin, v noční době pro nejhlučnější hodinu,

pro hluk z dopravy na veřejných komunikacích a pro hluk z leteckého provozu se stanoví pro celou denní a noční dobu.

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina akustického tlaku  $A$  (s výjimkou hluku z leteckého provozu a vysokoenergetického impulsního hluku) se stanoví součtem základní hladiny hluku  $L_{Aeq} = 50 \text{ dB}$  a příslušné korekce pro denní nebo noční dobu a místo podle tab. 4.2.

Pro provádění staveb je možná korekce  $+ 10 \text{ dB}$  k základní nejvyšší přípustné ekvivalentní hladině akustického tlaku  $A$ , a to v době od 7.00 a 21.00 hod. Hluk ze stavební činnosti se vypočte způsobem uvedeným v příloze č. 6 nařízení vlády č 502/2000 Sb.

Pokud by se prokázalo, že na ochranu před nadměrným hlukem konkrétní stavby byly vyčerpány všechny technicky realizovatelné prostředky, a přesto hluková zátěž této stavby nesplňuje limity, je možné potřebnou ochranu před hlukem zajistit vhodnou izolací. Přitom musí být zachována možnost potřebného větrání.[6]

Tab. 4.2: Korekce pro stanovení hlukových limitů venkovního prostoru

Způsob využití území	Korekce [dB]
Nemocnice - objekty	0 <sup>2)</sup>
Nemocnice - území, lázně, školy, stavby pro bydlení a území	+ 5 <sup>1), 3), 4)</sup>
Výrobní zóny bez bydlení	+ 20 <sup>3)</sup>
<p>- Pro noční dobu se použije další korekce <math>- 10 \text{ dB}</math> s výjimkou hluku z železnice, kde se použije korekce <math>- 5 \text{ dB}</math>.</p> <p>- Pro vysoce impulsní zvuk se připočte další korekce <math>- 7 \text{ dB}</math>.</p>	
<p><sup>1)</sup> Stanovená korekce neplatí pro hluk z provozoven (např. továrny, výroby, dílny, přádelny, stravovací a kulturní zařízení) a z jiných stacionárních zdrojů (např. vzduchotechnické systémy, kompresory, chladicí agregáty).</p>	
<p><sup>2)</sup> Pro zdroje hluku uvedené v poznámce <sup>1)</sup> platí další korekce <math>- 5 \text{ dB}</math></p>	
<p><sup>3)</sup> v okolí hlavních komunikací, kde je hluk z dopravy na těchto komunikacích převažující a v ochranném pásmu drah se použije další korekce <math>+ 5 \text{ dB}</math>.</p>	
<p><sup>4)</sup> V případě hluku způsobeného "starou zátěží" z pozemní dopravy je možné použít další korekci <math>+ 12 \text{ dB}</math></p>	

## 5 Šíření hluku

Dříve než se začneme zabývat chováním hluku v reálném prostoru je třeba si definovat zdroje hluku. Obecně je můžeme rozdělit do tří kategorií – bodový, liniový a plošný. Za bodový zdroj můžeme považovat například letadlo, krátkou motorovou jednotku, houkačku, atd. Příkladem liniového zdroje pak je dopravní proud automobilů o vysoké hustotě, popř. dlouhý vlak, atd. Plošným zdrojem rozumíme velkou dopravní plochu, např. nádraží nebo křižovatku s velkou intenzitou. [5]

### 5.1 Šíření hluku ve volném prostoru

Způsob šíření hluk z kolejové dopravy v otevřené krajině bez překážek je znázorněn na obr.

5.1. Když zvětšíme vzdálenost od zdroje z bodu  $d_1$  do bodu  $d_2$ , dojde ke snížení hladiny hluku z  $L_1$  na  $L_2$  podle vztahu 5.1.

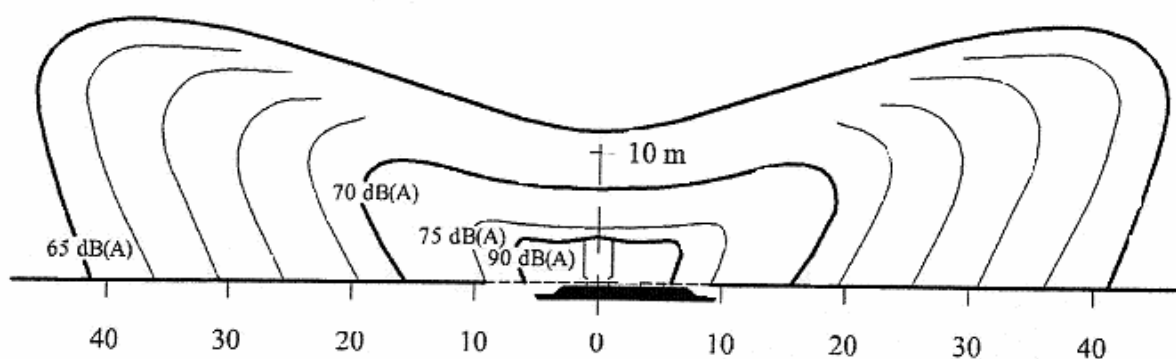
$$L_2 - L_1 = c_d \cdot \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right) \quad [dB] \quad /5.1/$$

kde  $c_d = 20$  pro bodový zdroj (např. jednotlivý automobil, případně kratší vlaková souprava na delší vzdálenost). Tzn., že při dvojnásobné vzdálenosti  $d_1$  a  $d_2$  klesne hladina hluku o 6 dB. Důležitým faktorem však je, že vlnová délka zvukových vln musí být menší než vzdálenost  $d_1, d_2$ .

$c_d = 10$  pro liniový zdroj (např. dopravní proud vozidel, dlouhý vlak z krátké vzdálenosti, atd.). Tzn., že při dvojnásobné vzdálenosti  $d_1$  a  $d_2$  klesne hladina hluku o 3 dB. Důležitým faktorem však je, že vlnová délka zvukových vln musí být menší než vzdálenost  $d_1, d_2$  a zároveň rozdíl  $d_2 - d_1$  musí být menší než je délka liniového zdroje.

$c_d = 0 - 5$  pro plošný zdroj (např. nádraží s velkým výkonem). V nejbližším okolí hlučnost prakticky neklesá, ve větší vzdálenosti dochází při zvětšení rozdílu  $d_2 - d_1$  k útlumu o 1 – 1,5 dB.

Z těchto skutečností vyplývá, že pokud bychom chtěli snížené hlučnosti dosáhnout pouze větší vzdáleností budov od zdroje, musely by se tyto budovy nacházet cca 100 – 150 m od regionálních tratí a komunikací a až 500 m od dopravních koridorů. [5, 6]



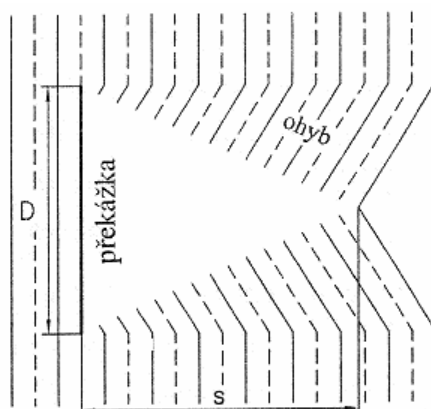
Obr. 5.1- Tvar izofon hluku produkovaného kolejovou dopravou [6]

## 5.2 Šíření hluku přes překážky

Jak bylo uvedeno výše, zvuk je mechanické vlnění a proto pro něj platí zejména zákon zachování hmoty a energie. Při průchodu prostředím, kde se mění podmínky a fyzikální vlastnosti dochází k ohybu zvuku. Při přechodu z jednoho prostředí do druhého dochází k lomu, jak je tomu např. i u elektromagnetického záření. Při kontaktu s překážkou dochází k odrazu zvuku.

### 5.2.1 Ohyb zvuku

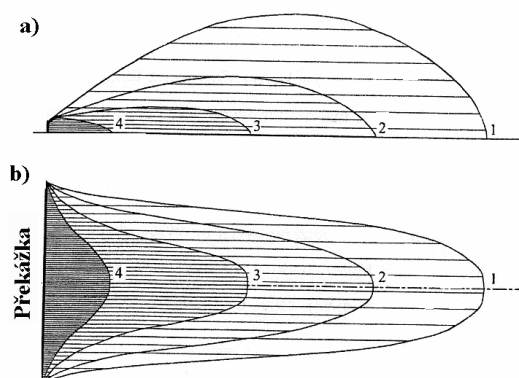
Šíří-li se zvuk kolem překážky, můžeme si každý bod hrany této překážky představit jako nový zdroj zvukových vln. Superpozicí dílčích účinků pak dostáváme změnu směru šíření – tedy ohyb zvukových vln. Tento jev je závislý na několika parametrech. Především se jedná o vlnové délce zvuku  $\lambda$  a rozměru překážky  $D$ .



Obr. 5.2 - Ohyb zvukových vln za překážkou [5]



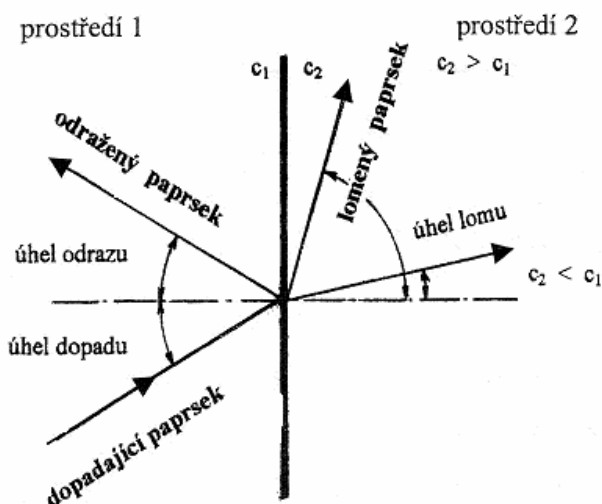
Za překážkou pak vzniká tzv. akustický stín, tedy pokles akustického tlaku oproti okolnímu prostředí. Tento pokles je přímo úměrný zvýšení akustického tlaku před překážkou a je rovněž závislý na vlnové délce zvuku.



Obr. 5.3: Akustický stín za překážkou a) podélný řez b) půdorys [6]

### 5.2.2 Odraz a lom zvuku

Odraz zvuku nastává po střetu hlukového paprsku s překážkou. Základním parametrem pro vlastnosti tohoto jevu je opět vlnová délka zvuku. Další vlastností, která tento jev ovlivňuje, je materiál odrazové plochy, tedy jedná-li se o povrch odrazivý nebo pohltivý. V případě rovinné plochy o rozměrech řádově větších než je vlnová délka vlny, platí zákon, že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. Tento odraz následně vyvolává koncentraci zvukové energie před překážkou, a ta se projevuje vyšším akustickým tlakem.

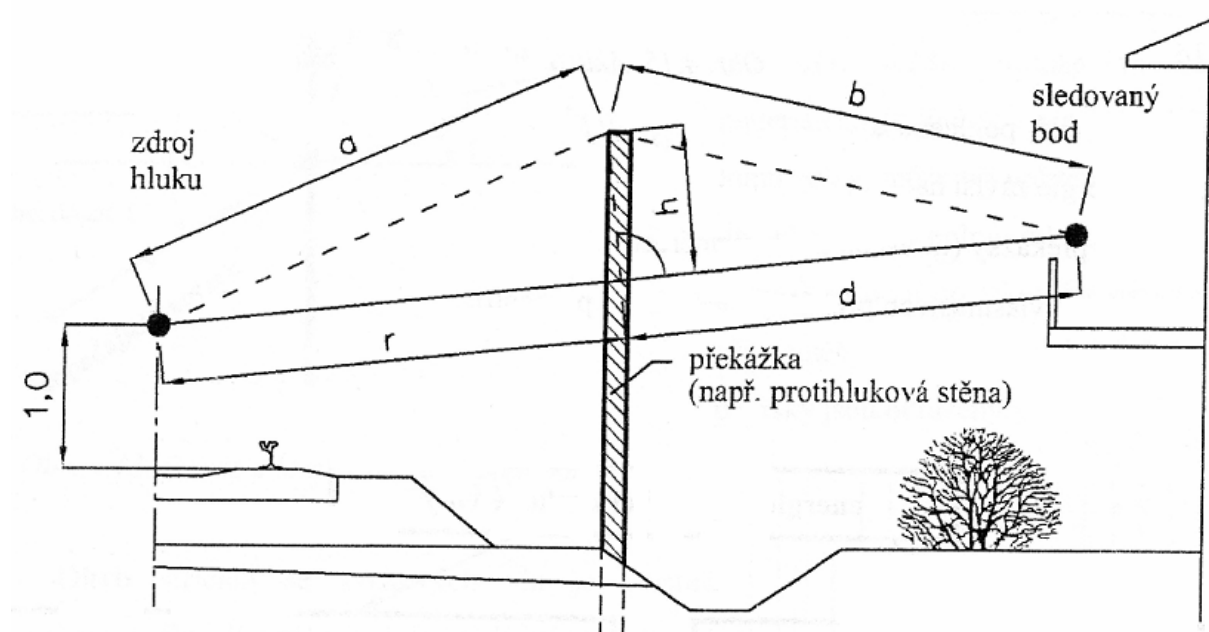


Obr. 5.4 - Odraz a lom zvukového paprsku [6]

Lom zvukového paprsku nastává při přechodu do prostředí s jinými fyzikálními vlastnostmi. Základním ovlivňujícím parametrem tohoto jevu je tentokrát rychlost šíření zvuku v daném prostředí. [5, 6]

### 5.2.3 Přechod zvuku přes překážku

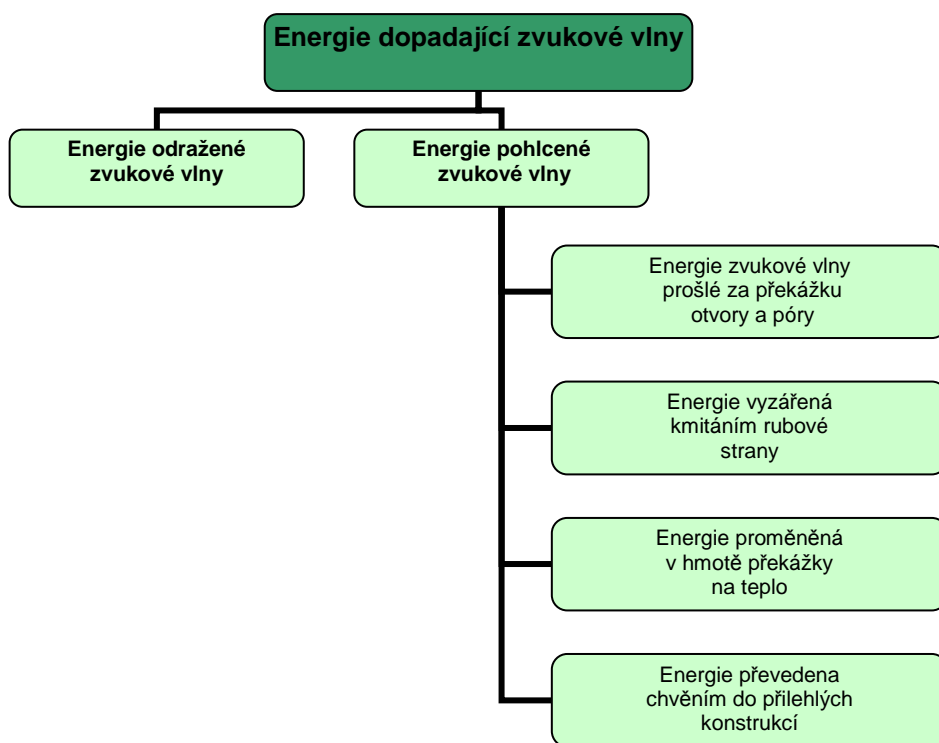
Dostane-li se hluková vlna k překážce, může nastat několik možností. Jak již bylo uvedeno výše, část energie je odražena zpět, část proniká do hmoty a mění se na tepelnou energii a na energii chvění a část zvukové energie prochází dál. Poměr, jakým jsou tyto energie rozděleny závisí na všech rozměrech překážky, vlnové délce zvuku a vlastnostech materiálu a povrchu překážky. Překážka pak může ovlivnit zvukovou vlnu jedinečně v případě, že je vlnová délka zvuku menší než nejmenší rozměr překážky. Z tohoto poznatku vyplývá pro využití v praxi jeden podstatný závěr. Zvuky vysokých frekvencí (tedy krátkých vlnových délek) se tlumí podstatně snadněji než frekvence nízké s dlouhými vlnovými délkami.



Obr. 5.5 - Efektivní výška překážky [6]

Útlum hluku procházejícího překážkou pak závisí na plošných rozměrech a hmotnosti překážky, vlnové délce zvuku, na vzdálenosti zdroje od překážky a na efektivní výšce

překážky (viz obr. 5.5). Podstatnými faktory jsou pak ještě délka překážky a druh zdroje hluku (liniový, bodový, plošný). [5, 6]



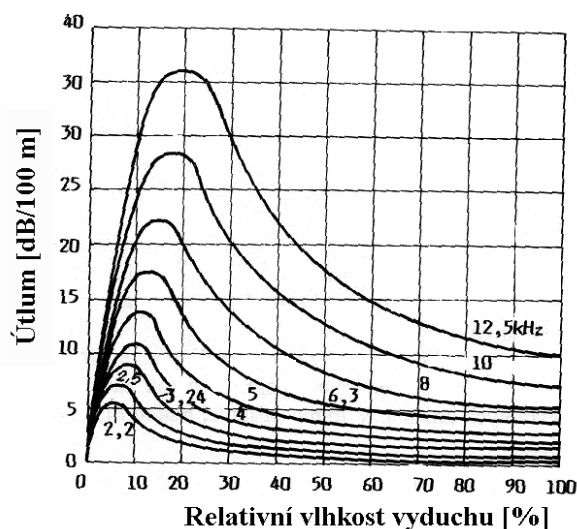
Obr. 5.6 - Rozdělení akustické energie po dopadu na překážku

### 5.3 Šíření hluku v reálném plynném prostředí

Mezi emisarem hluku a jeho příjemcem dochází k prostorovému útlumu vln, tzv. poklesu hladin hluku. Tento jev závisí zejména na těchto třech parametrech: vzdálenost mezi zdrojem a příjemcem, meteorologických podmínkách a povrchu terénu, kterým se hluk šíří.

#### 5.3.1 Útlum zvuku vlivem absorpce ve vzduchu

Jedním z podstatných jevů, na kterých je závislý hlukový útlum ve vzduchu, je tzv. molekulární absorpce, která je založena na relaxaci molekul kyslíku. Tento jev je výrazně závislý na relativní vlhkosti vzduchu.



Obr. 5.7 - Útlum zvuku vlivem absorpce vzduchu o teplotě 20°C [5]

Z obr. 5.7 je patrné, že útlum závisí i na frekvenčním složení hluku. Zvuky o vysokých kmitočtech vykazují při stometrových vzdálenostech dodatečný útlum v desítkách dB. Naopak nízkofrekvenční zvuky prakticky neslábnou, největšího útlumu dosahují při relativní vlhkosti 10 – 20 %.

### 5.3.2 Útlum zvuku vlivem větru, mlhy, deště, sněhu a teplotních gradientů

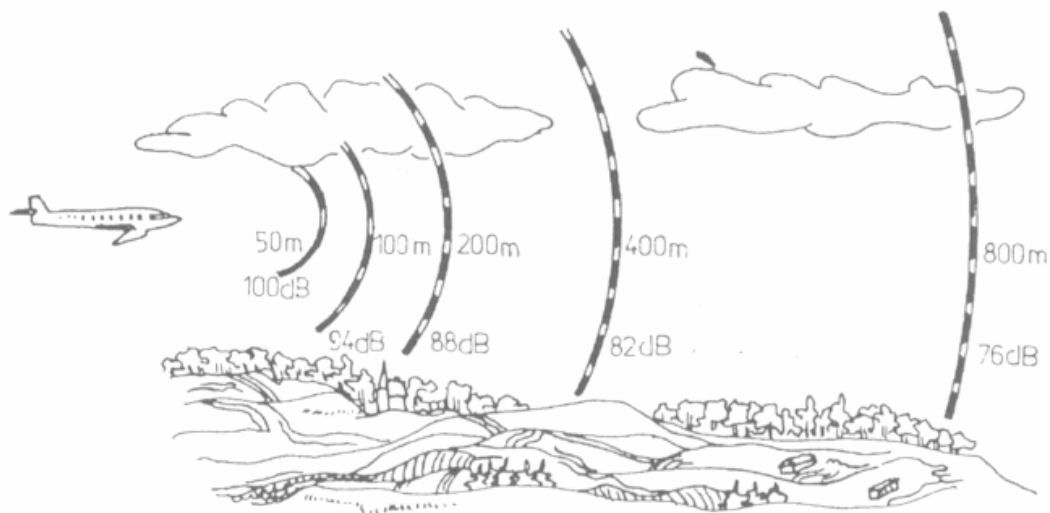
Šíření hlukových vln ve venkovním prostoru rovněž výrazně ovlivňují povětrnostní podmínky. Jejich vliv roste společně se vzrůstající vzdáleností mezi emisarem a příjemcem hluku.

- Větr ovlivňuje šíření hluku podle toho, jestli se zvuk šíří proti nebo po větru. V případě, že zvuk i vítr mají stejný směr, dochází zvýšení hladiny hluku a opačně. Rozhodujícím faktorem je zde také rychlost větru a již zmíněná vzdálenost od zdroje.
- Teplota vzduchu ve venkovním prostoru se mění s rostoucí výškou, což způsobuje změnu rychlosti zvuku. Zvukové vlny se pak v důsledku tohoto jevu mohou ohýbat a to ve směru teplotního spádu.
- Dalším významným faktorem je vlhkost vzduchu. Obecně platí, že vzduch není nejlepším zvukovým vodičem – daleko lépe se zvukové vlny šíří ve vodě, skle nebo kovech. Jak bylo uvedeno v minulé podkapitole, klesá zvuková pohltivost se vzrůstající vlhkostí vzduchu a to zejména v oblasti vysokých frekvencí.

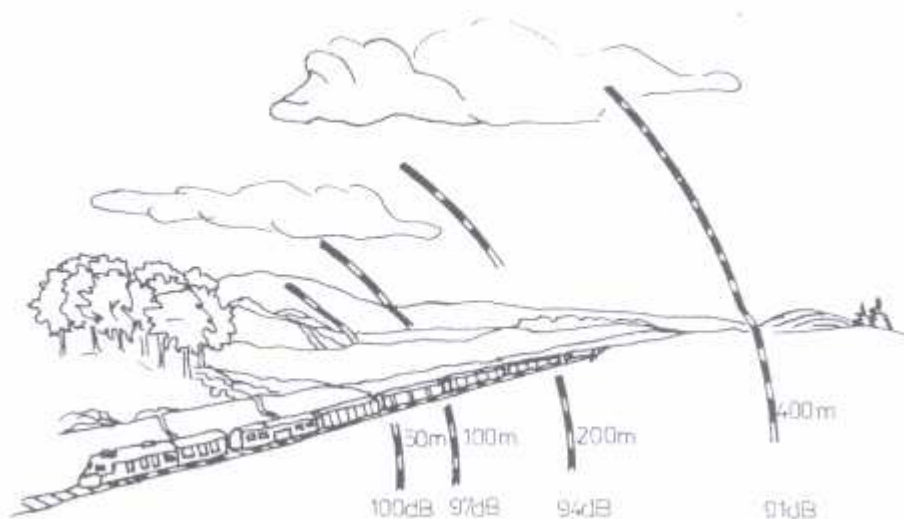
- O vlivu deště a sněhu na útlum zvuku je v technické literatuře jen velmi málo údajů. Empirické zpracování této problematiky by vyžadovalo mnoho experimentálních pokusů.

### 5.3.3 Útlum zvuku vlivem vzdálenosti mezi příjemcem a zdrojem

Od zdroje hluku (resp. zvuku) se akustické vlny šíří všemi směry. Tvar těchto vln (tzv. akustického pole) v okolí železniční nebo silniční dopravní cesty je závislý na nasměrování vln a akustickými vlastnostmi prostředí, kterým se zvuk šíří. Klíčovým prvkem pak je, zda se jedná o pohyblivý nebo stacionární zdroj. Zatímco od stacionárního bodového zdroje hluku (běžící motor stojící lokomotivy) se do prostoru šíří kulové vlny zvuku, v případě pohybujícího se bodového zdroje můžeme sledovat zvukové vlny s určitou deformací. Od liniového zdroje hluku (např. dopravní proud na určité pozemní komunikaci) se pak šíří válcové zvukové vlny podél celé dráhy. Velký rozdíl mezi liniovým a stacionárním bodovým zdrojem je pak v útlumu. Při zdvojnásobení vzdálenosti pozorovatele od zdroje činí útlum u stacionárního bodového zdroje 6 dB, zatímco u liniového zdroje jde pouze o 3 dB.



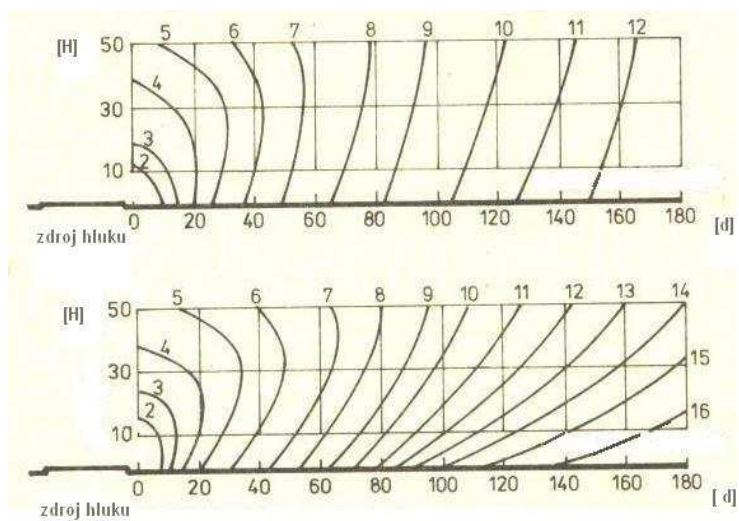
Obr. 5.8 - Útlum zvuku produkovaného nestacionárním bodovým zdrojem [13]



Obr. 5.9 - Útlum zvuku liniového zdroje [13]

#### 5.3.4 Útlum zvuku vlivem pohltivosti terénu

Zvuk šířící se vzduchem a dopadající na jiné prostředí (vodní hladina, stěna, terén, atd.) se na rozhraní těchto dvou prostředí z části odráží a z části proniká do tohoto nového prostředí a je jím pohlcován. Akustické vlny ve venkovním prostředí mohou být tedy pohlcovány a utlumovány absorpcí terénem a porostem na povrchu tohoto terénu. V souvislosti s touto vlastností rozlišujeme terén na zvukově pohltivý a odrazivý. Nad odrazivým povrchem dochází k přibližně stejnému útlumu těsně nad terénem a ve větší výšce referenčních bodů. V případě pohltivého terénu můžeme v šíření akustických vln pozorovat výraznou deformaci těsně nad tímto povrchem. Zatímco za odrazivý terén můžeme považovat například vodní hladinu, asfaltové a betonové plochy, příkladem pohltivého terénu mohou být porosty trávy a jiných nízkých kultur.



Obr. 5.10 Útlum zvuku nad odrazivým a pohltivým terénom  
v závislosti na vzdálenosti a výšce [13]

## 6 Hluk z železniční dopravy

Jedná se o časově proměnný hluk se spojitým proměnným spektrem. Na jeho intenzitu má vliv několik faktorů. Druh trakce, technický stav vozidla a jízdní dráhy, rychlost, počet vozidel soupravy, vzdálenost od pozorovatele, atd. Jak již bylo uvedeno výše, velkou úlohu hraje i to, zda se jedná o zdroj bodový, stacionární, resp. nestacionární (např. pohybující se, resp. stojící motorová jednotka), liniový (dlouhý vlak v relativně malé vzdálenosti od příjemce) a plošný (nádraží s velkou intenzitou).

Hluk z železniční dopravy můžeme rozdělit do několika skupin:

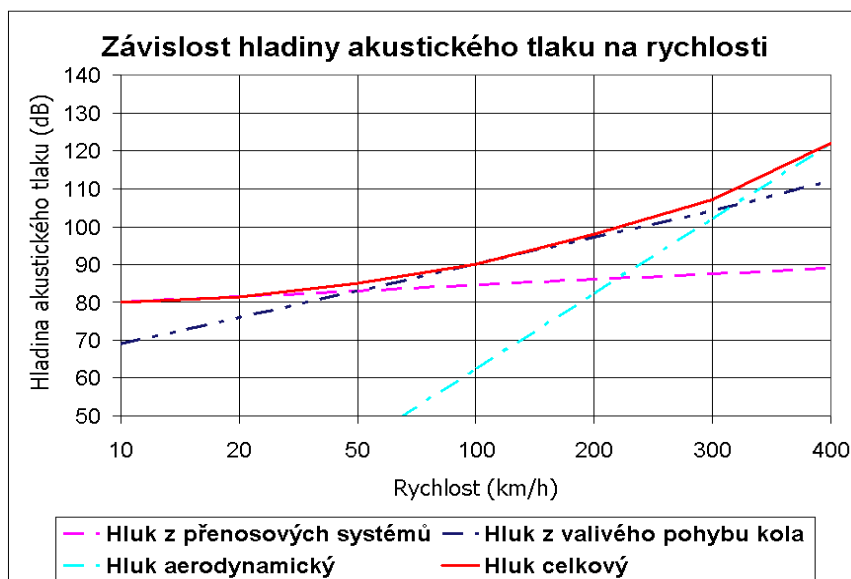
1. Hluk vyvolaný pohybem kola po kolejnici a hluk podvozku. Jelikož je tento hluk při provozu na regionálních tratích dominantní, bude podrobněji rozebrán v podkapitolách 6.1 – 6.3.
2. Hluk motorů a pomocných agregátů trakčních vozidel (hluk kompresorů, motorů, chlazení, atd.), hluk vyvolaný kmitáním vozové skříně
3. Hluk sběrače a aerodynamický hluk
4. Lokální dopravní hluky (výstražné signály, hluk vyvolaný bržděním, hlášení rozhlasu, atd.)

Skupiny hluku 1, 2 a 3 jsou velmi závislé na rychlosti jízdy soupravy. Tuto závislost můžeme vidět na obr. 6.1. Do rychlosti kolem 50 km/h převažuje hluk hnacího stroje a přenosových systémů. Pro rychlosti do 280 km/h převažuje hluk valivého pohybu kola po kolejnici a nad touto hranicí dominuje hluk aerodynamický.

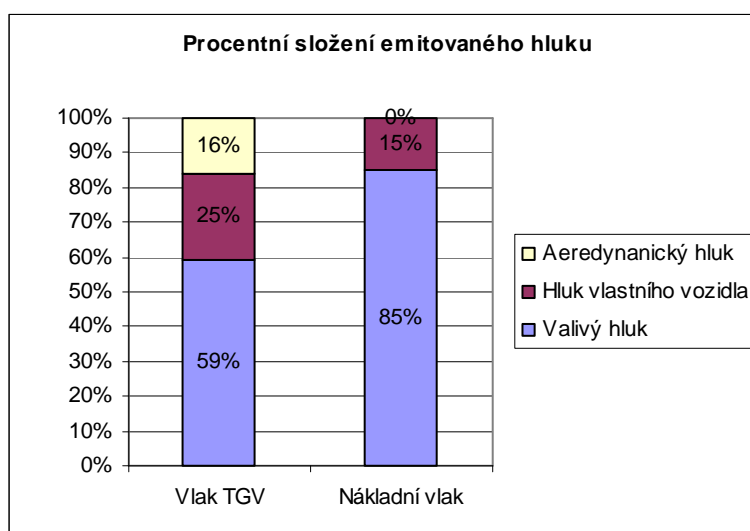
Pro navrhování protihlukových opatření je rovněž důležité, že na celkovém hluku se hluky dílčí podílejí nestejně (viz obr. 6.2). Je tedy efektivnější pokusit se eliminovat hluk s nejvyšším podílem – tedy většinou valivý.

Důležitým poznatkem pro protihluková opatření je rovněž to, že jednotlivé hluky vznikají v různé výšce od temena kolejnice. Valivý hluk je emitován v maximální výšce 1 m, hluk z motoru ve výšce 1.5 – 4 m, atd. (viz obr. 6.3).

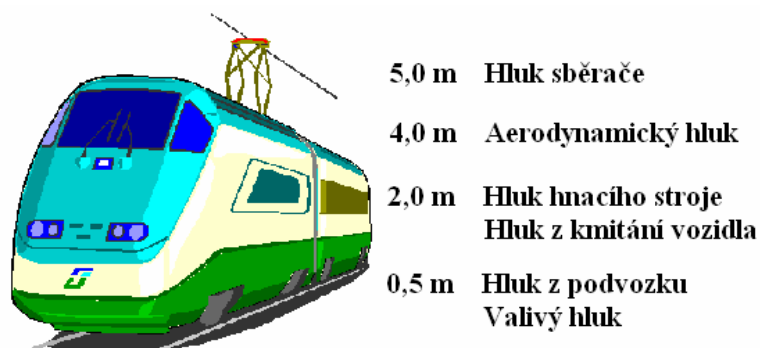




Obr. 6.1 - Závislost hladiny akustického tlaku na rychlosti [13]



Obr. 6.2. - Příklad složení emitovaného hluku v závislosti na druhu soupravy



Obr. 6.3 - Výškové rozložení zdrojů hluku železničního vozidla

## 6.1 Hluk valivý

Vzniká interakcí kola a kolejnice, respektive drsností a nerovností na jejich povrchu. Stěžejní je přitom zejména drsnost kolejnice, která je hlavním ovlivňujícím parametrem akustických emisí vznikajících valivým pohybem kola po kolejnici. Pro účinnost všech protihlukových opatření na železničních tratích je tedy důležité udržování povrchu kolejnic v co nejhladším stavu. Tímto opatřením můžeme minimalizovat působení tratě na hluk produkovaný železniční dopravou. Ve frekvenčním pásu do 1,5 kHz celkových hlukových emisích má totiž na vzniku nežádoucího hluku kvalita tratě zásadní podíl.

K vzniku drsnosti, vlnkovatosti a dalších vad kolejnic dochází zejména v místech akcelerační a brzdění vozidel, dále pak v blízkosti výměn a křížení. Tyto vlnky se projevují pravidelným sledem prohlubní tmavší barvy a kovově lesklými vrcholky. Délka těchto vln se pohybuje okolo 3 – 10 cm. Tato vlnkovitost se objevuje v přímé a v obloucích velkých poloměrů. V obloucích s malým poloměrem dochází rovněž ke tvorbě obdobných vln. Jejich délka se však pohybuje okolo mezi 10 – 30 cm a jsou způsobeny prokluzem kol zejména na vnitřní kolejnici.



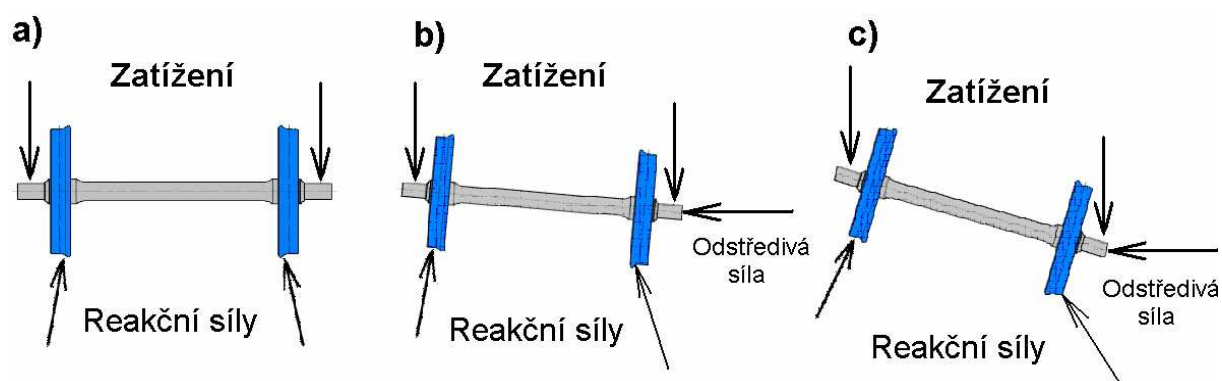
Obr. 6.4 - Vada na kolejnici – vlnkovitost [13]

Dalším významným zdrojem hluku z valení jsou geometrické nepřesnosti oběžných ploch kol. Frekvence kmitů a také jejich intenzita je pak definována maximální výchylkou a délkou nepravidelností jízdní plochy kola a pojízdné plochy hlavy kolejnice.

Valivý hluk lze tedy definovat jako široko-pásmový zvuk generovaný elastickými vibracemi mezi kolem a kolejnici, jejichž povrch je nepravidelný (příčemž nepravidelností myslíme vady a opotřebení kola a kolejnice).[6, 13]

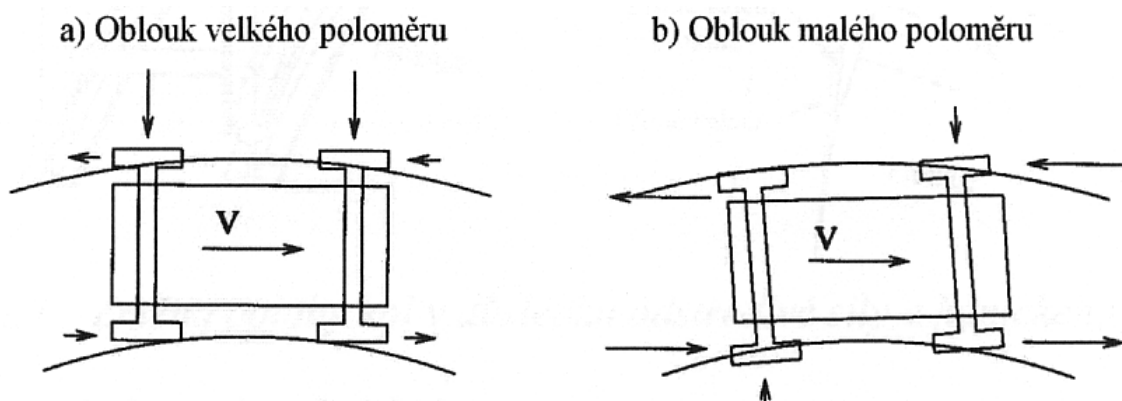
## 6.2 Hluk kvílivý

Jedná se o tónový zvuk o vysoké amplitudě, jenž vzniká zejména při průjezdu vozidla v obloucích o malém poloměru. V železniční dopravě se s ním setkáme nejčastěji na nádražích (osobních i nákladních) a v centrech větších měst, kde je produkován provozem tramvajových souprav.

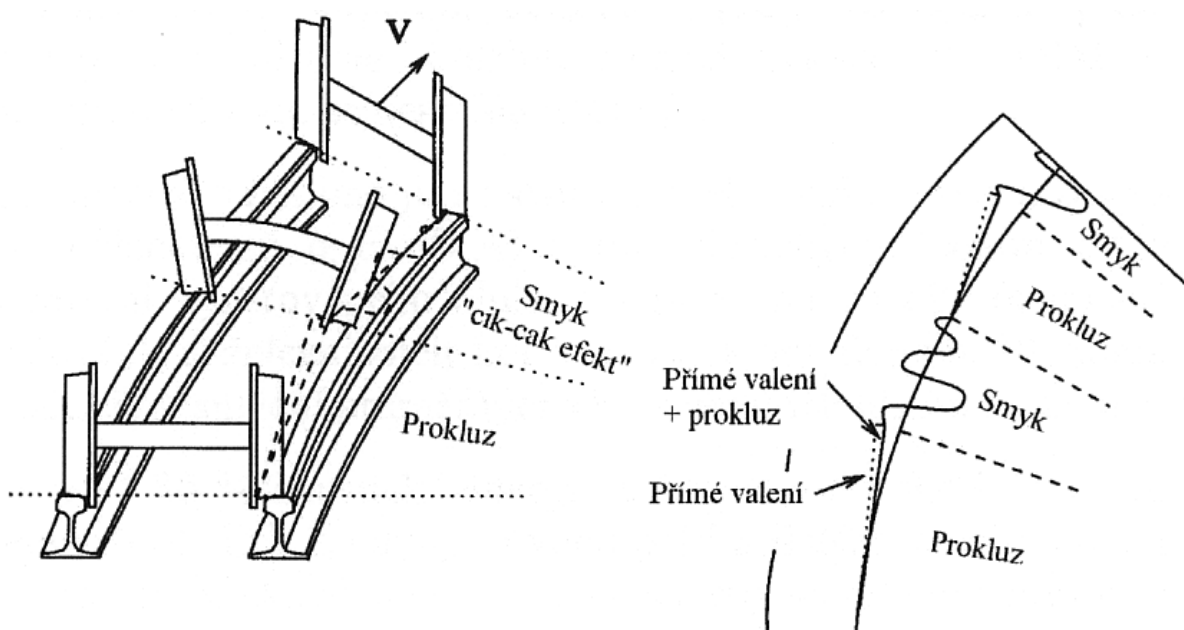


Obr. 6.5 - Změna polohy kol v důsledku odstředivé síly a kónického tvaru [13]

Při pohybu soukolí v přímé (obr. 6.5) je kontaktní plocha kola a kolejnice malá – představuje ji Herzova elipsa o velikosti os 4 mm x 6 mm. V oblouku však dochází ke změnám styčných ploch. Vnější kolo musí ujet větší vzdálenost než kolo vnitřní, jelikož však jsou obě kola spojená hřídelí, mají stále stejnou úhlovou rychlost. Kompenzování rozdílů délek pojezdů se pak docílí kónickým tvarem kola, který vzhledem k bočnímu posunu způsobenému odstředivou silou nutí vnější kolo jet po větším poloměru než vnitřní. (Toto opatření však zcela funguje jen při ideálních podmínkách. V praxi vytváří tento rozdílný poloměr točivý moment napříč soukolím.) Pro oblouky větších poloměrů (a tím pádem i menších odstředivých sil) stačí pro kompenzaci rozdílů v délkách kolejnic na vnější a vnitřní straně pouze kónický tvar kola a nedochází ke kontaktu okolku a kolejnice. (Obr. 6.6 a obr. 6.7). Směrové oblouky malých poloměrů však způsobují, že se okolky dostávají do kontaktu s vnější kolejnici. Tento kontakt způsobuje brždění valivého pohybu kol.



Obr. 6.6 - Poloha dvoukolí v koleji při průjezdu směrovými oblouky

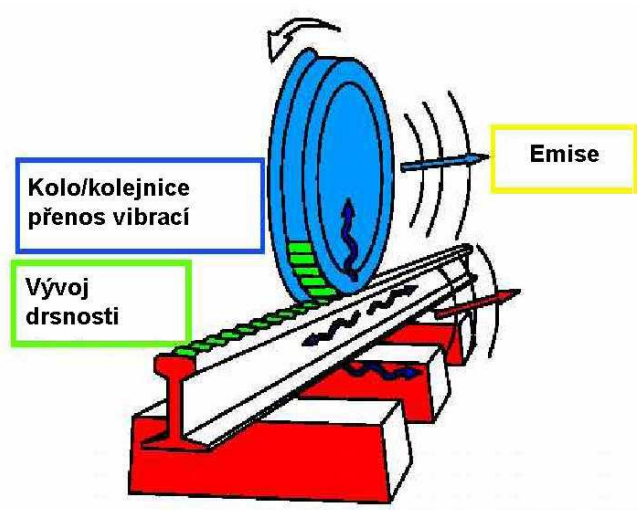


Obr. 6.7 - Změna polohy kol v důsledku odstředivé síly a kónického tvaru

Ke kompenzaci rozdílných délek rovněž přispívá elasticita poloosy a podélné smýkání kol po kolejnici. Elastické kroucení poloos se redukuje podélným prokluzem kol (Obr. 6.7). Tato kroučící deformace spolu s podélným prokluzem probíhá do té doby, dokud není překročena třecí síla. Poté se soukolí dostává do smykového pohybu tzv. „cik-cak efektu“ a poloosy se vyrovnávají do původního stavu. Střídání sil způsobujících proklouznutí a smýknutí působí na každé kolo v opačném směru. Za určitých podmínek režimu střídání přímočarého prokluzu a příčného smyku kola začínají rezonovat. Tyto vibrace budí akustické vlny které označujeme jako kvílivý hluk.[13]

### 6.3 Hluk nárazový (impaktní)

Jedná se o hluk způsobovaný mezerami mezi kolejnicemi (styky, výhybky) a svary. Při průjezdu zejména soupravou železničních vozů tak vznikají rytmické zvukové vlny. Kola těchto vozidel ztrácejí při průjezdu přes nerovnost popř. mezeru kontakt s kolejnicí a zpětná návrat na následující kolejnici způsobuje náraz. Účinkem tohoto jevu je hluk, který je bezprostředními pozorovateli vnímán jako rytmické, za sebou jdoucí úhozy. Nejčastěji se s tímto hlukem setkáváme při průjezdu kola srdcovkou výhybky a při přejezdu styku kolejnic zejména v zimním období.



Obr. 6.8 - Schéma hluku způsobeného pohybem kola po kolejnici [17]

Mezi impaktní hluk se však řadí i hluk způsobený většími nerovnostmi na kolejnici, popřípadě (mnohem častěji) hluk způsobený pohybem kola se špatnou symetrií. Tyto nepravidelnosti na kole mají za následek pravidelně se opakující ztrátu kontaktu kola s kolejnicí, která je doprovázena nárazem. Tento zdroj hluku je poměrně snadno eliminovatelný broušením kola respektive kolejnice.[8]

## 7 Aktivní protihluková opatření

Základním pravidlem pro protihluková opatření, které se v literatuře častokrát opakuje, je věta „Kam je vidět, dostane se i hluk“. V praxi to znamená, že kde je vidět přes překážku a otvory v ní, zcela určitě bude v daném místě neúčinná. Toto pravidlo ale samozřejmě neplatí pro průhledné protihlukové zdi a speciální okna s více skly a mezivrstvou ze těžkých plynů (např. argon a hexafluorid síry).

Základní dělení protihlukových opatření je na **aktivní** a **pasivní**. Zatímco aktivními se snažíme eliminovat zdroje hluku, pasivní opatření mají zabezpečit ochranu před nadměrnou hlukovou zátěží. [6]

Aktivní opatření dále dělíme na:

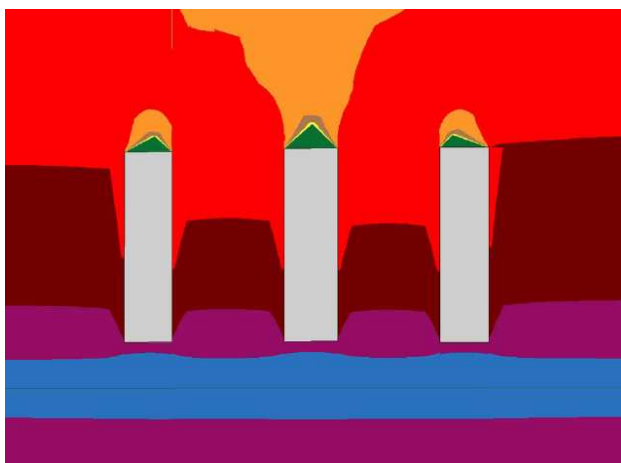
- urbanistická
- architektonická
- dopravně organizační
- technická

### 7.1 Urbanistická opatření

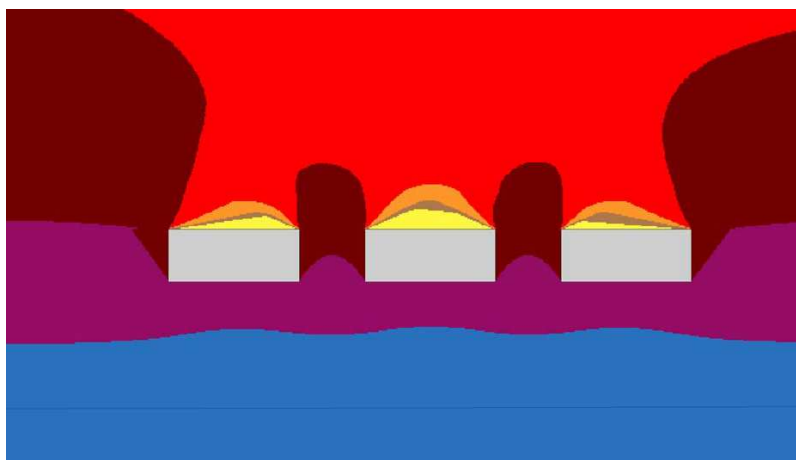
Urbanistická opatření spočívají v komplexním řešení obytných zón (zejména jejich dopravního systému), optimalizaci přepravních nároků a dopravní obsluhy), vhodné dislokace objektů podle jejich účelu, atd. V praxi to například může znamenat, že komunikaci s velkou intenzitou dopravy je třeba vést mimo centra měst, obytné a historické zóny a oblasti zvláštní akustické ochrany (školství, zdravotnictví, ...). Tyto zásady rovněž platí pro navrhování velkých dopravních ploch, jako jsou nádraží a přepravní terminály. Naopak je výhodné klíčové komunikace a nádraží situovat do průmyslových oblastí. Některé objekty, které nevyžadují protihlukovou ochranu, pak mohou sloužit jako ochrana proti šíření nadměrného hluku (např. sklady). Blízkost pozemních komunikací, nádraží a dalších dopravních ploch pak bývá pro průmyslové podniky výhodná i z logistického hlediska. Jako urbanistická protihluková opatření můžeme označit i prostředky, kterými je preferována hromadná doprava ve velkých městech. [6]

## 7.2 Architektonická opatření

Architektonická ochrana proti nadměrnému hluku spočívá ve vhodném situování budov nacházejících se v blízkosti pozemních komunikací, železničních drah a jiných zdrojů hluku. Například objekty postavené rovnoběžně s komunikací jsou exponovány hlukem pouze z jedné strany, zatímco objekty situované kolmo ke komunikaci jsou zasaženy z obou stran a v případě několika takto postavených budov se hluk ještě mezi nimi odráží. Na druhou stranu tvoří souvislá zástavba podél komunikací účinnou překážku šíření hluku a za těmito objekty vzniká klidová zóna, tzv. akustický stín. Je zřejmé, že tyto objekty nelze využívat jako bytové popřípadě administrativní prostory. Další doporučené opatření spočívá v postupně rostoucí výškou objektů v závislosti na jejich vzdálenosti od pozemní komunikace. Architektonická opatření se však netýkají pouze staveb jako celků, je rovněž důležité postavení vnitřních prostor vůči poloze komunikace, resp. trati. [6]

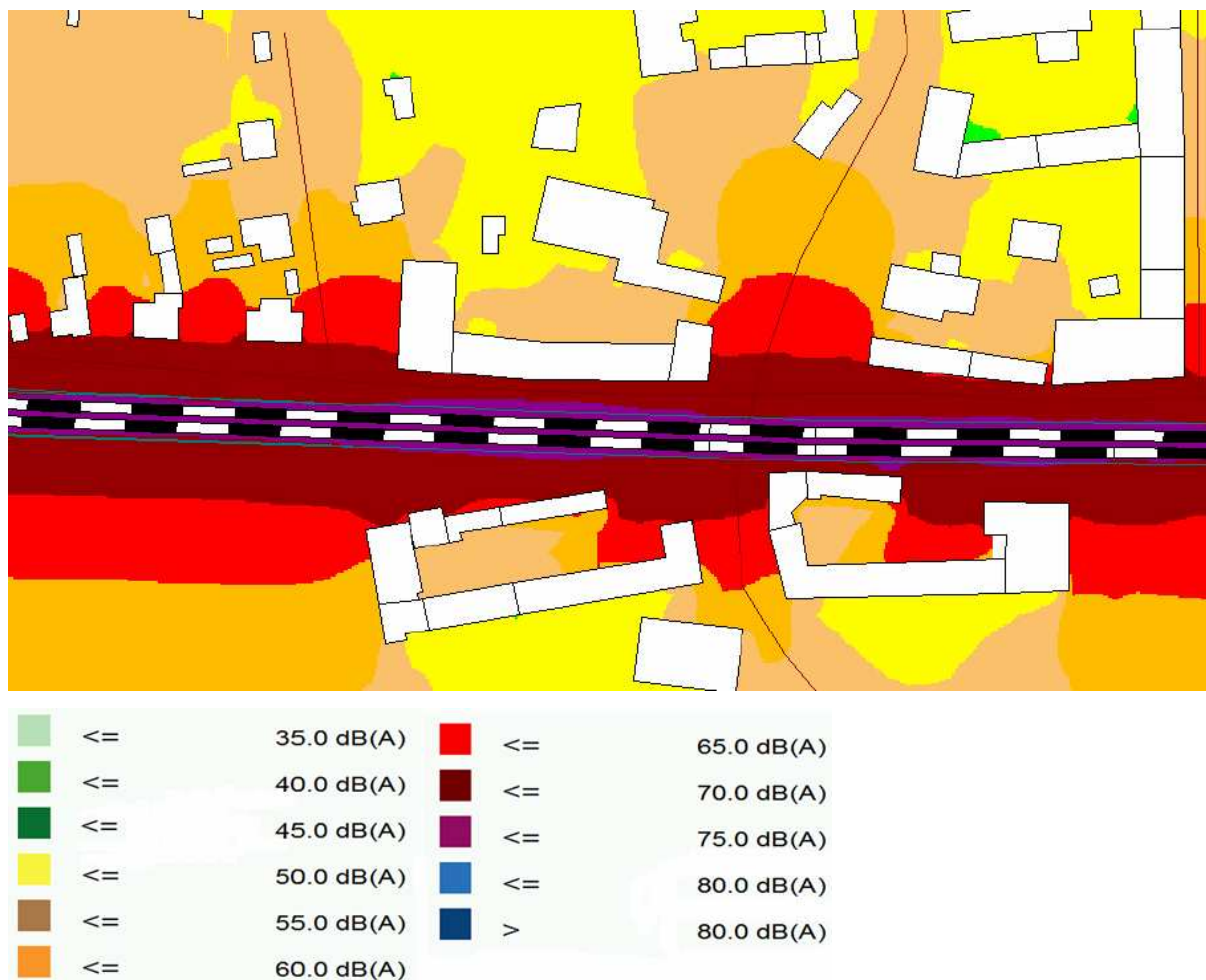


Obr. 7.1 – Šíření hluku v okolí budov situovaných kolmo k jízdní dráze [18]



Obr. 7.2 – Šíření hluku v okolí budov situovaných podél jízdní dráhy [18]



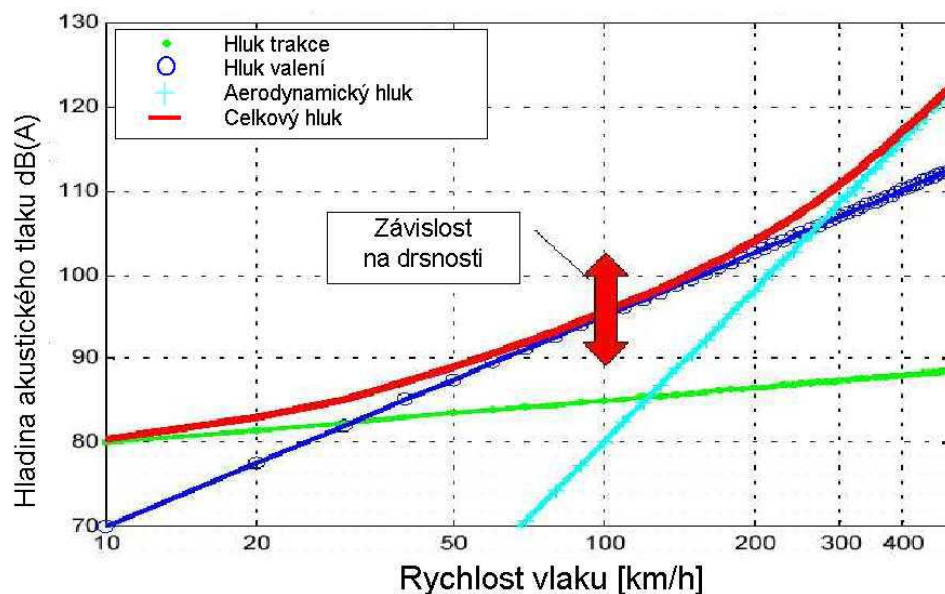


Obr. 7.3 – Budovy situované podél jízdní dráhy mohou vytvářet hlukové bariéry, za kterými jsou místa s výrazně nižší intenzitou hluku z dopravy - tzv. dopravní stín [18]

### 7.3 Dopravně-organizační opatření

Dopravně-organizační opatření spočívají v zkvalitňování a preferenci hromadné dopravy, vhodné vedení a řízení dopravy. U kolejové dopravy je to pak především omezení rychlosti a to zejména v nočních hodinách (zejména u tramvajové dopravy).





Obr. 7.4 - Z obrázku je jasně patrné, že hodnota akustického tlaku stoupá společně s rychlostí vozidla, resp. soupravy. Lze tedy říci, že při snížení rychlosti klesne i intenzita hluku (při zachování jinak stejných podmínek) [8]

## 7.4 Technická opatření na vozidle

Technická opatření spočívají ve snížení hlukových emisí vydávaných vozidly, popř. jízdní dráhou. Do vozidel jsou instalovány různé tlumiče a odpružení, kapotáž pojezdu a kryty motorů. Dále může velmi pomoci změna materiálu sběrače, broušení asymetrie kol a hlavně celkové udržování vozidla v dobrém stavu. (Jelikož tato kapitola spadá spíše do strojírenství, budu se podrobněji zabývat pouze tlumiči na kole a nekovovými brzdovými špalíky). U jízdní dráhy jde pak o užití méně hlučných konstrukcí a zajištění odpovídající údržby. Například u tramvajové dopravy velmi úzce závisí vyzařovaný hluk právě na kvalitě koleje. [6, 8]

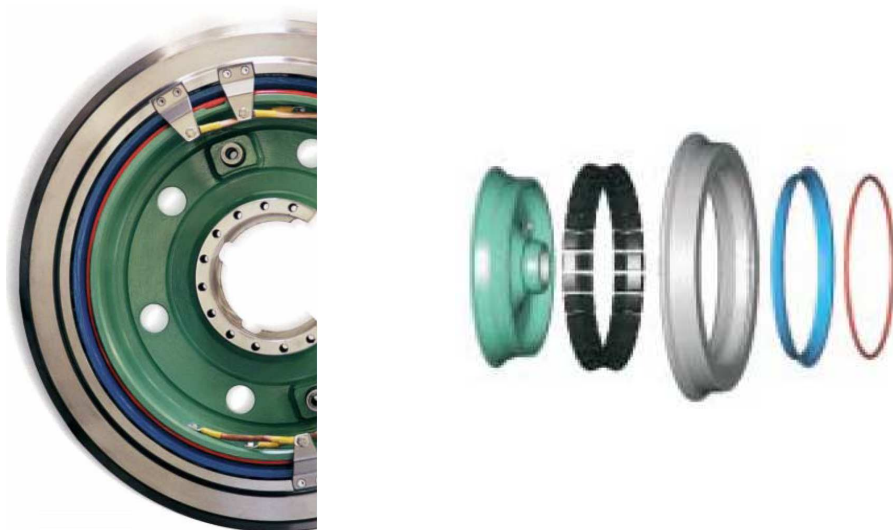
### 7.4.1 Tlumiče na kole

Tyto absorbery jsou montované na kola soupravy za účelem eliminace valivého, kvílivého a částečně impaktního hluku. Základním principem implementace tlumičů na železniční vozidlo je zvýšení hmotnosti a s tím souvisejícího tlumícího koeficientu. To má za následek mimo přímého snížení vyzařovaného hluku i přesun emitovaného hluku do vyšších frekvenčních pásem. Mezi přednosti těchto absorberů patří možnost „ladění“, takže mohou

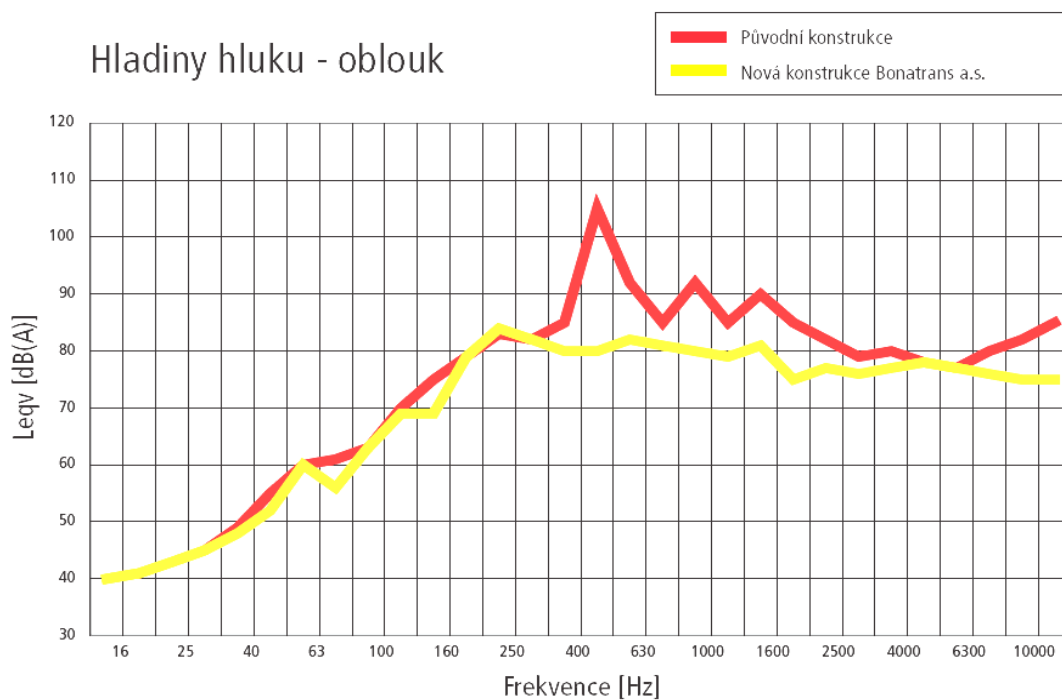
být nastaveny na konkrétní parametry vydávaného hluku. V podstatě rozlišujeme dva typy těchto protihlukových opatření.

- Tlumící kroužky – Vyznačují se nízkou hmotností a pořizovacími náklady, na druhou stranu mají výrazně nižší životnost a účinnost. Používají se především v situacích, kde stačí menší efektivita tlumení ke splnění hlukového limitu.
- Kompozitní tlumiče – Jsou konstruovány z několika vrstev různých druhů materiálu pro maximální tlumící efekt u konkrétního kola. Toto opatření je velmi efektivní, jelikož bylo zaznamenáno snížení valivého hluku o 5 dB a eliminace kvílivého hluku o 30 dB. Toto opatření se mimo to vyznačuje ještě nízkou hmotností, možností aplikace na všechny typy kol a vysokou životností.

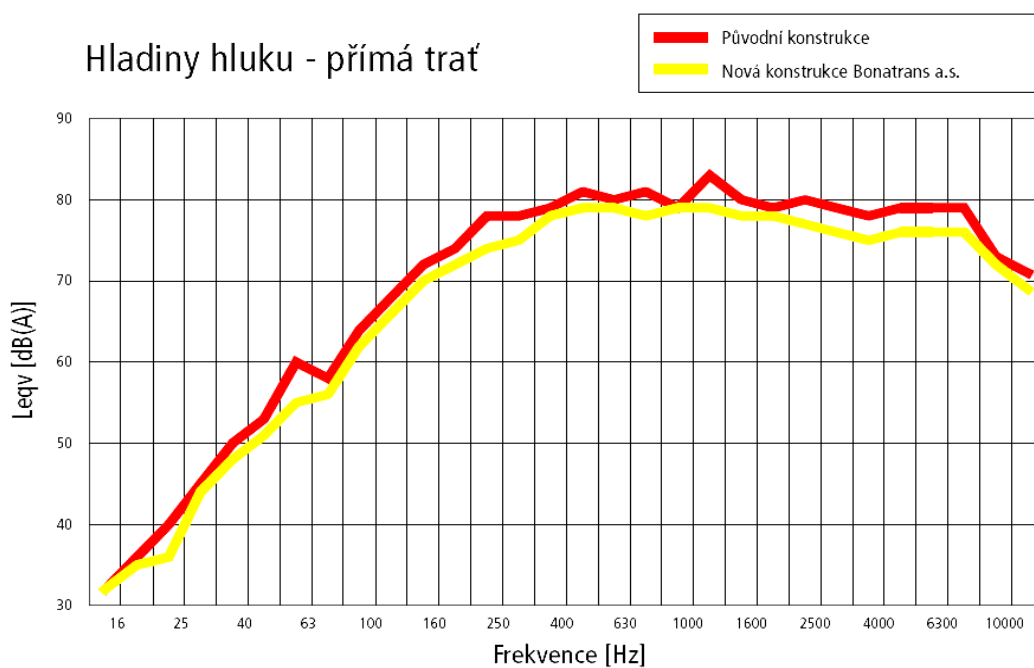
V současné době se kolové absorbéry využívají především u tramvajové dopravy a u metra, začínají se ale prosazovat také v příměstské kolejové dopravě. Na obr. 333 je uvedeno složení odpruženého kola firmy Bonatrans. Základní části tlumiče a kola tvoří kotouč, obruč, pryžové segmenty, přítlačný kruh a pojistný kroužek. Zemnící spojení mezi obručí a kotoučem na povrchu kola může být umístěno i uvnitř pryžových segmentů. [19]



Obr. 7.5 – Skladba tlumiče na kola Bonatrans [13, 19]



Obr. 7.6 – Efektivita tlumiče Bonatrans v oblouku [19]



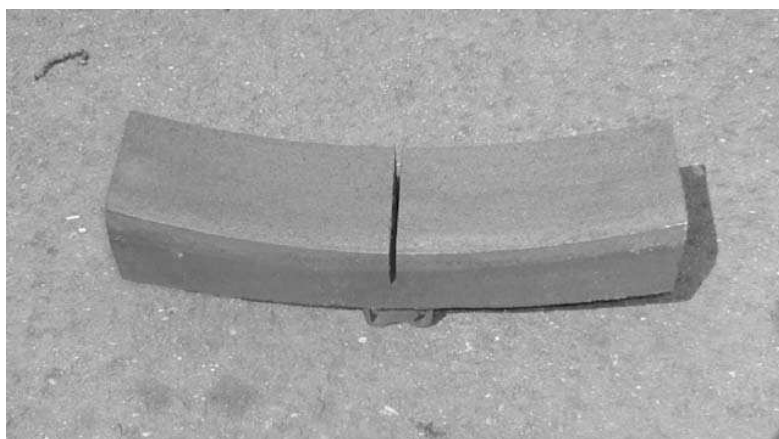
Obr. 7.7 – Efektivita tlumiče Bonatrans v přímé trati [19]

#### 7.4.2 Nekovové brzdové špalíky

V České republice jsou železničních vozidel uplatňovány dva mechanické brzdové systémy. Přestože moderní vozy převážně osobní přepravy jsou už většinou vybavovány brzdami kotoučovými, v České republice tvoří tyto soupravy jen malou část vozového parku.

Zejména u nákladní dopravy jsou dnes nejvíce rozšířené litinové brzdové špalíky, které však výrazně přispívá k hlučnosti vozidla. Jelikož mají kolejová vozidla poměrně dlouhou životnost, je náhrada za nový vozový park s lepšími hlukovými vlastnostmi v krátkém časovém intervalu finančně neproveditelná.

Jako nejefektivnější se pak jeví rekonstrukce kolejové výstroje současných vozidel a nahrazení brzdového špalíku litinového nekovovým. Měřením bylo prokázáno, že užitím nekovových špalíků může dojít ke snížení hluku o 8 – 9 dB. Ani toto řešení však není zcela bezproblémové a přináší s sebou další problémy, které je třeba vyřešit. Mezi ty nejzávažnější patří, že u nekovových špalíků lze zatím jen obtížně zajistit stabilní třecí koeficient za všech povětrnostních podmínek. Tento faktor je nezbytný k dodržení reprodukovatelné zábrzdné vzdálenosti. Brzdové špalíky nelze vyměnit najednou u celého vozového parku, proto bude nepochybně docházet ke kombinaci vozidel s litinovým a s nekovovým systémem ve vlaku. Při této situaci nesmí být podélné síly při brždění takové, aby vyžadovaly zvláštní opatření v soupravě. Nekovové brzdové špalíky by měly vykazovat stejnou životnost a náklady na jejich zavedení a provoz by měly být srovnatelné s brzdami litinovými. Problematická je i interakce nového systému špalíků s dvojkolím. Použitím kompozitních špalíků nesmí být narušena řádná funkce kolejových obvodů a dvojkolí musí vykazovat odolnost proti zbytkovému tepelnému namáhání. [14]



Obr. 7.8 - Nekovový brzdový špalík typu „L“ Ferodo 3325 [14]



Obr. 7.9 – Rozdíly v opotřebení kol při užívání litinových a kompozitních brzdových systémů

## 7.5 Technická opatření na jízdní dráze

### 7.5.1 Mazníky

Mazníky jsou zařízení sloužící k mazání okolků vozidel před průjezdem oblouku o malém poloměru. Konstrukčně jsou umístěny na vnitřní straně vnější kolejnice a jsou použitelné pro všechny druhy kolejové dopravy – tramvaje, železnice, metro. Principem zařízení je aplikace speciálního maziva na vnitřní hranu kolejnice, to pak následně vytváří na jejím povrchu tenký vysoce přilnavý film, který snižuje tření na styku kolo – kolejnice (resp. okolek – kolejnice). Mazivo se vyznačuje vysokým obsahem pevných částic, je mimořádně odolné vůči extrémním tlakům a biologicky odbouratelné.

Mezi hlavní účinky mazníků pak patří snižování opotřebování kolejníc a okolků, a tím i prodlužování jejich životnosti, nižší spotřeba energie při průjezdu vozů obloukem a snižování hluku vznikajícího na rozhraní kol a okolků.

Mazivo je možné aplikovat dvěma způsoby:

- Skrze otvory vyvrtané v kolejnici

Jedná se efektivnější způsob s nižší spotřebou maziva. Při vrtání otvorů do kolejnice nehrozí žádné riziko prasknutí ani jiného poškození kolejnice.

- S použitím aplikačních lišt



Používá se tam, kde vrtání kolejnice nelze použít. Mazivo je pak nanášeno skrze jednu nebo více lišt připevněných k vnitřní straně kolejnice. [12]



Obr. 7.10 - Kolejový mazník a jeho napájení [12]



Obr. 7.11 - Lištový mazník [12]

## 7.5.2 Úprava jízdní dráhy

Jak již bylo uvedeno v dřívějších kapitolách, na hluku z dopravy se podílí spousta elementů, mezi které patří i jízdní dráha. Logicky tedy existuje řada opatření ke snížení hladin hluku na železnici, které jsou prováděny nebo implementovány na železničním svršku.

V souvislosti se snížením hluku na trati se provádějí následující úpravy:

- Broušení kolejnic
- Výměna kolejnic
- Instalace pružného upevnění kolejnic
- Instalace pryžových podložek pod kolejnici a pražce
- Celková obnova železničního svršku
- Atd.

▪ **Broušení kolejnic**

K broušení se přistupuje při vlnovitosti kolejnic, které značně zvyšují valivý hluk na styku kolo – kolejnice. Mimo tuto vadu lze broušením eliminovat převalky a vadu headcheck, zabrání se tak nadměrnému poškození a výrazně se zvýší životnost kolejnice.



Obr. 7.12 - Broušení kolejnic [11]



Obr. 7.13 - Vlnovitost kolejnic [11]

- **Výměna kolejnic**

K výměně kolejnic se přistupuje při jejím nadměrném ojetí, které by nebylo možné eliminovat broušením. V souvislosti s touto opravou je většinou provádí i výměna upevnění kolejnic. Například může být provedena výměna tuhé svěrky ŽS 4 s dvojitým pružným kroužkem Fe 6 a svérkovým šroubem RS 1 M 24 s maticí, za pružnou svěrku Skl 12 s podložkou Uls 6 a svérkovým šroubem RS 0 M 22 s maticí.



Obr. 7.14 – Příklad pružného upevnění kolejnice [20]



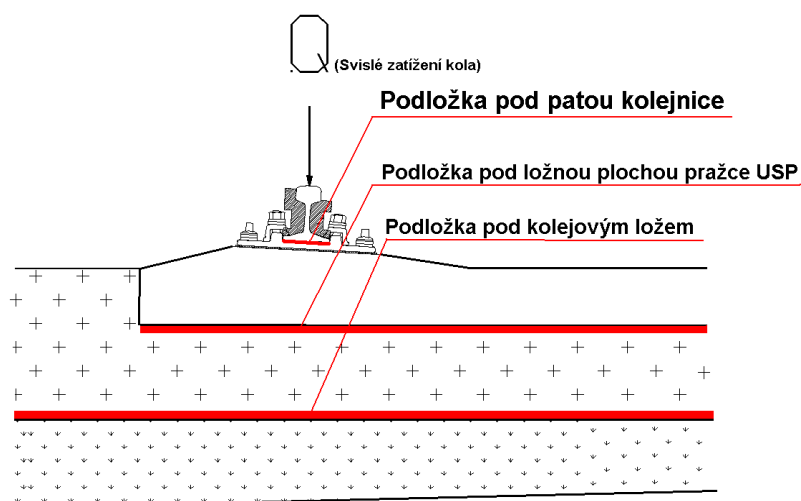
Obr. 7.15 - Příklad pevného upevnění [21]

- **Podložky pod patou kolejnice**

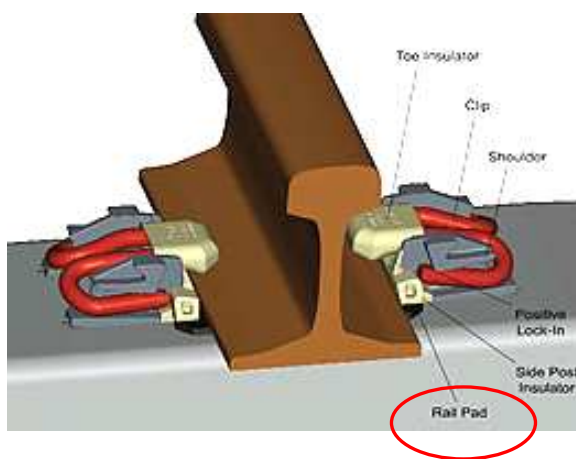
Slouží k tlumení dynamických účinků kolejových vozidel na železniční svršek a spodek. Pokud se neprovádí pouze výměna kolejnice, ale i obnova upevňovadel, může být



spolu s podložkou pod patou kolejnice implementována i podložka pod podkladnici (samozřejmě v případě podkladnicového upevnění). Materiálem podložek může být pryž nebo jiný pružný materiál splňující potřebná technická kritéria, jako je odolnost vůči povětrnostním vlivům a zvýšenému dynamickému namáhání. Materiál rovněž nesmí mít korozivní účinky na kovové části upevnění a na beton a musí být rovněž odolný vůči ropným produktům.



Obr. 7.16 – Schéma umístění podložek v konstrukci svršku [13]



Obr. 7.17 – Umístění pryžových podložek v systému pružného upevnění [13]



Obr. 7.18 – Detail podložky pod kolejnici [13]

- **Podložky pod ložnou plochu pražce**

Jejich účelem je zvětšení dotykové plochy materiálu kolejového lože s betonovým, dřevěným či ocelovým pražcem je zvětšení dotykové plochy materiálu kolejového lože a pražce. Zlepšuje se tedy přenos zatížení z kola vozidla přes kolejnice a pražce do pražcového podloží, což se výrazně projevuje na kvalitě geometrické polohy koleje provozované trati. Na redukci hluku má tento systém vliv pouze v nepřímo. Toto opatření mění vlastnosti dynamického systému vozidlo – kolej, což vede k potlačení rozvoje skluzových vln a vlnkovitosti. Podložky pod ložnou plochu pražce však poměrně efektivně tlumí vibrace. Materiálem vhodným pro výrobu těchto podložek je pak polyuretan (PUR), etyl vinyl acetát (EVA) a pryž.



Obr. 7.19 – Schéma umístění podložek v konstrukci svršku, konkrétně pod plochou pražce [13]

- **Podložky pod kolejovým ložem**

Tento systém má jen malý vliv na snížení hluku jízdní dráhy. Využívá se především jako opatření proti šíření vibrací, kde dosahuje dobrých výsledků. Jelikož je předmětem mé práce především šíření hluku, nebudu se tímto systémem podrobněji zabývat.

- **Celková obnova železničního svršku**

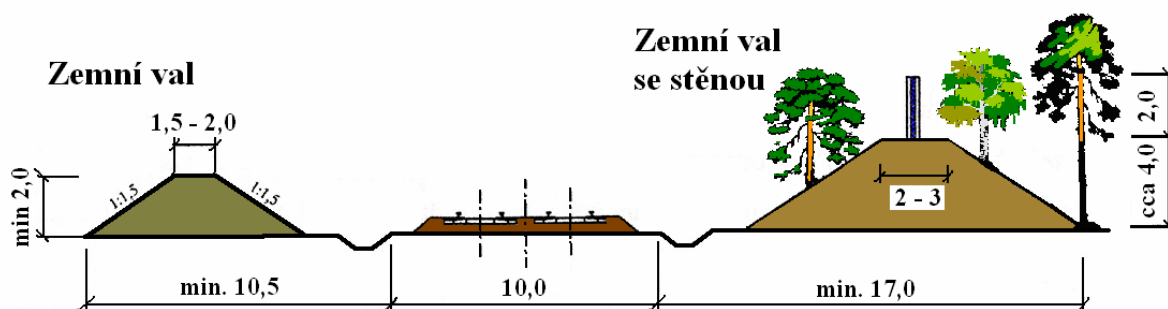
V zásadě se jedná o výměnu všech součástí železničního svršku, tedy pražcového lože, pražců, upevňovadel a kolejnice. Toto se však děje jen při špatném stavu všech komponent svršku. Většinou dochází k rekonstrukci nebo výměně pouze některých částí. Příkladem může být strojové čištění pražcového lože, případně jeho doplnění, výměna jednotlivých pražců a podbití. Tyto úpravy mají vliv na geometrickou polohu koleje, čímž se dá redukovat příspěvek dopravní cesty do celkové produkce hluku z dopravy. Měřením bylo České republice ověřeno, že výměnou kolejnice a náhradou tuhého upevnění pružným může být dosaženo snížení hluku o 3 – 6 dB a celkovou obnovou železničního svršku můžeme docílit snížení o 5 – 9 dB. [3]

## 8 Pasivní protihluková opatření

Pasivní protihluková opatření mají eliminovat již vzniklou hlukovou zátěž, zabránit jejímu dalšímu šíření a chránit obyvatelstvo před jejími nepříznivými vlivy. Tato opatření mohou být implementována do konstrukce koleje, umístěna podél tratě nebo se mohou aplikovat přímo na objekt, který je třeba chránit.

### 8.1 Protihlukové valy

Nejčastěji se vyskytujícím protihlukovým opatřením jsou clony, které jsou umísťovány podél pozemních komunikací, železničních tratí a jiných dopravních zařízení (např. nádraží). Z tohoto souboru jsou nejvýhodnější opatření využívající konfigurace terénu, tj. vedení trasy v tunelu, v galerii, popř. v zářezu. Podobného efektu lze dosáhnout dodatečným zřízením zemních valů. Toto řešení je sice velmi náročné na prostor, na druhou stranu ale méně narušuje celkový vzhled a při osazení vhodné zeleně může mít velmi prospěšný vliv na krajinu. Toto opatření však nelze z bezpečnostních důvodů realizovat v místech, kde by mohlo negativně ovlivnit např. rozhledové poměry a z ekonomického hlediska se vyplatí pouze tam, kde je dostatek násypového materiálu. Při malé výšce valu a vysoké hladině hluku může být tato konstrukce rozšířena o protihlukovou stěnu na vrcholu valu. Ve stísněných podmínkách může být zase užita stěna s jednostranným valem. Zemní valy mohou být tvořeny prakticky všemi druhy zemin a hornin, kromě ekologicky a zdravotně závadných a nepoužitelných zemin. [6]



Obr. 8.1 – Schéma zemního valu s doporučenými rozměry [6]



Obr. 8.2 – Zemní val zpevněný ocelovou sítí

## 8.2 Pásky zeleně

Dle hmotnosti clony rozlišujeme tyto opatření na hmotné a tenké. Do kategorie hmotných náleží mimo již zmíněných zemních valů ještě pásky zeleně. Mezi výhody tohoto opatření patří velká plocha listů natočených do různých směrů, což působí proti hluku velmi efektivně.



Obr. 8.3 – Thuja brabant (česky túje) [22]

Toto opatření vyniká rovněž estetikou, pozitivním působením na krajinu, pohlcováním exhalací, ovlivňováním mikroklimatu, eliminací eroze a povětrnostních vlivů. Na druhou stranu musí být pásky zeleně široké alespoň 20 m, aby efektivně tlumily hluk, což nemusí být vždy proveditelné. V případě velmi nepříznivých klimatických vlivů může dojít k padání větví popř. celých stromů na trať. Při využití opadavých dřevin se pak stává toto opatření na určitou část roku méně efektivní, jelikož velkou část hluku tlumí právě listy. U zeleně navíc dochází k útlumu frekvencí nad 5kHz, proto není příliš účinná pro útlum dopravního hluku.



Z těchto důvodů se zelené pásy většinou používají v kombinaci s jinými protihlukovými opatřeními.



Obr. 8.4 – Hloh tvoří častý porost podél komunikací [22]

### 8.3 Protihlukové stěny

Protihluková stěna je nejčastěji tvořena obdélníkovými panely z různých materiálů. Jako nosné prvky pak nejčastěji slouží sloupky z železobetonu nebo z ocelových profilů. Podle užitého materiálu rozlišujeme clony:

- betonové, železobetonové, z předpjatého betonu, z mezerovitého betonu, alkalirezistentního sklovláknitého betonu (dále SVB),
- kombinované s kovovým pláštěm z profilovaných plechů (s antikorozií ochranou),
- celodřevěné (s ochranou proti klimatickým vlivům),
- cementotřískové,
- dřevěné s pohltivou vložkou (s ochranou proti klimatickým vlivům),
- hliníkové (s povlakem nebo nátěrem)
- zděné z cihel a tvárnic,
- z bezpečnostního skla a plexiskla (nutná ochrana drobného ptactva),
- z akrylátů, polykarbonátů,
- z plastů nebo směsných recyklovaných plastů,
- kombinované s pohltivými povrchy pryžovými, epoxidovými, z polymerních kompozitů, keramické, betonové nebo cihlářské výrobky vyplněné zeminou, apod.,
- z jiných materiálů.

### 8.3.1 Pohltivý povrch stěn

Aby došlo k zvýšení účinnosti protihlukové clony bývají někdy obloženy pohltivým materiálem. Obecně se dá říct, že stupeň absorpce hluku je přímo úměrný aktivnímu povrchu. Zvýšením absorpční schopnosti povrchu stěn lze dosáhnout užitím:

- povrchové vrstvy (obkladu) vytvořené při výrobě nebo dodatečně z těchto materiálů:
  - minerální vaty pokryté latěmi,
  - porézního keramického materiálu,
  - drcené pryže,
  - dřevěných třísek spojených cementem, heraklitem,
  - expandovaného jílu, apod.
- perforovaných ocelových, hliníkových nebo plastových kazet naplněných minerální vatou. [7]

### 8.3.2 Zvukotechnické parametry stěn

**Vzduchová neprůzvučnost  $\Delta L_{AR}$  [dB]** je rozdíl hladiny hluku dopadající na povrch překážky ve směru šíření zvukových vln a hladiny hluku vyzářené na opačné straně této překážky. Minimální požadovaná neprůzvučnost je definovaná v závislosti na frekvenčním spektru (viz tab.555) nebo komplexní hodnotou  $\Delta L_{ARmin} = 25$  dB. Vzduchová neprůzvučnost clon se většinou pohybuje na intervalu 10 – 50 dB a je přímo úměrná objemové hmotnosti. Je-li tedy plošná hmotnost clony menší než  $40 \text{ kg.m}^{-2}$ , není třeba tento parametr posuzovat.

Tab. 8.1 - Požadovaná vzduchová neprůzvučnost v závislosti na frekvenci

f [Hz]	100	125	250	500	1000	2000	4000
$\Delta L_{AR}$ [dB]	10	12	18	24	30	35	35

Tab. 8.2 - Zařazení stěny do kategorie  
v závislosti na vzduchové neprůzvučnosti

Kategorie	$\Delta L_{AR}$ [dB]
B0	neurčeno
B1	< 15
B2	15 - 24
B3	> 24

**Koeficient průzvučnosti  $\tau$**  je poměr hladiny hluku vyzářené stranou clony odvrácené od zdroje k hladině hluku dopadající na stranu lící. Jedná se tedy o bezrozměrné číslo, ležící v intervalu od nuly (dokonale neprůzvučná stěna) do jedné (dokonale průzvučná stěna).

**Zvuková pohltivost  $\Delta L_{A\alpha}$  [dB]** je rozdíl hladiny hluku dopadající na povrch překážky ve směru šíření zvukových vln a hladiny hluku následně vyzářené na téže straně této překážky. Dle hodnoty  $\Delta L_{A\alpha}$  rozlišujeme protihlukové clony:

- odrazivá clona  $\Delta L_{A\alpha} < 4 \text{ dB}$
- pohltivá clona  $4 \text{ dB} \leq \Delta L_{A\alpha} < 8 \text{ dB}$
- vysoce pohltivá clona  $8 \text{ dB} \leq \Delta L_{A\alpha}$

**Koeficient zvukové pohltivosti  $\alpha$**  určíme analogicky koeficientu průzvučnosti. Jedná se tedy o poměr pohlcené hladiny hluku k hladině hluku dopadajícího na lící stranu clony. Rovněž nabývá hodnot mezi nulou (dokonale odrazivá clona) a jedničkou (dokonale pohltivá clona). Koeficient zvukové pohltivosti se stanovuje pro konstrukci jako celek. Rovněž jsou dány minimální požadované hodnoty tohoto poměru v závislosti na frekvenci.

Tab. 8.3 - Požadovaný koeficient zvukové pohltivosti v závislosti na frekvenci

f [Hz]	100	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0,2	0,3	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9

Tab. 8.4 - Zařazení stěny do kategorie  
v závislosti na koeficientu zvukové pohltivosti

Kategorie	$\Delta L_{A\alpha}$ [dB]
A0	neurčeno
A1	< 4
A2	4 - 7
A3	8 - 11
A4	> 11

### 8.3.3 Protihlukové stěny PMMA

Zvukově izolační stěna typu PMMA bývá realizována podél silnic, dálnic, rušných místních komunikací a železnic. Nalézá uplatnění tam, kde je mimo akustických parametrů potřeba i optických vlastností, jako je například průhlednost. Mezi její výhody patří nízká hmotnost, vysoká tvrdost, tuhost a pevnost a odolnost proti nárazu. Tento materiál je rovněž



velmi odolný proti chemickým a povětrnostním vlivům, pohlcuje ultrafialové světlo a lze jej dobře zpracovávat.

Deska z PMMA je osazována podobně jako klasické protihlukové stěny do svislých ocelových sloupků HE (popř. jiného vhodného), v osově vzdálenosti 1 – 3 m. Upevnění modulových prvků je řešeno tak, aby umožňovalo tepelnou dilataci. Průhledné desky z PMMA jsou rovněž usazovány v nakloněné poloze např. nad betonovými panely, aby se snížil vizuální dopad stěny (obr. 8.5).

Oproti běžnějším betonovým nebo dřevěným protihlukovým panelům má tedy deska z PMMA výhodu v podobě nižší hmotnosti a menších pořizovacích nákladů. V akustických vlastnostech je rovněž srovnatelná. Zajímavostí je, že subjektivní vnímání hlukové zátěže závisí na viditelnosti zdroje hluku. Jinak řečeno, hluk o stejné hladině vnímáme víc rušivý, když emisara vidíme, než když se zdroj nachází za neprůhlednou překážkou. V tomto ohledu má tedy průhledná protihluková stěna z PMMA nevýhodu. [15]

Tab. 8.5 – Základní parametry protihlukové stěny z PMMA

Tloušťka	15 - 20 mm
Hustota	1,19 g/cm <sup>3</sup>
Index propustnosti světla	91%
Maximální trvalá teplota	70°C
Délková tepelná roztažnost	5 mm/m
Zvuková izolace	32 dB
Osová vzdálenost sloupků	Max. 3 m



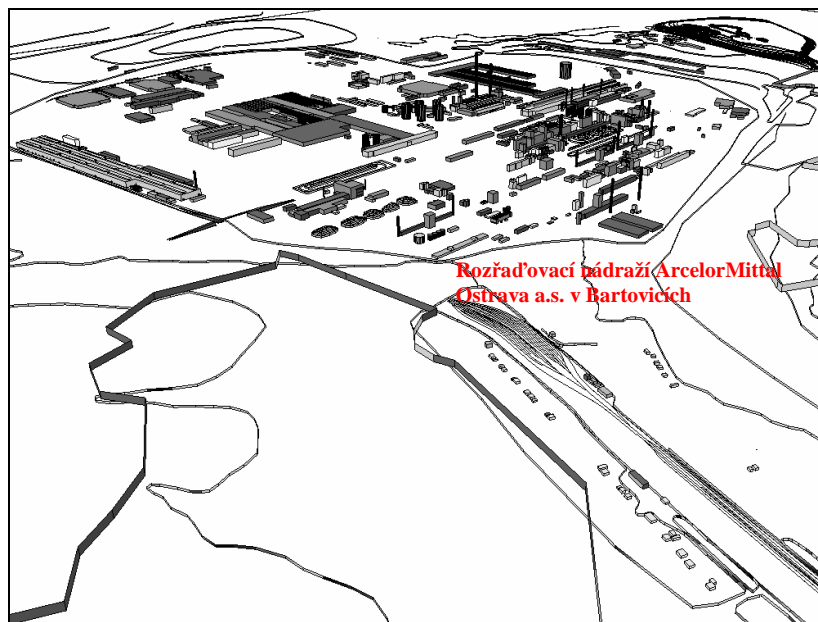
Obr. 8.5 – Kombinace protihlukových desek z PMMA s dřevěnými panely [15]



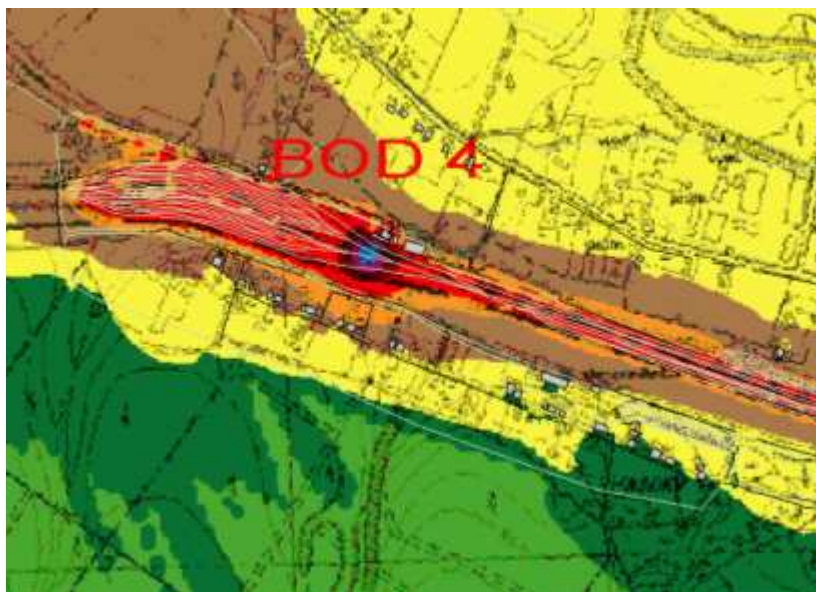
Obr. 8.6 – Stěny z PMMA nacházejí uplatnění rovněž podél železnic [15]

#### 8.3.4 Konkrétní lokalita užití protihlukové zdi – Ostrava Bartovice

V Ostravě Bartovicích se nachází rozřadovací nádraží společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. Vzhledem k enormnímu hluku, který se zde produkoval bylo na nátlak veřejnosti provedeno několik měření a následně byl vypracován a realizován projekt na eliminaci dopravního hluku.



Obr. 8.7 – 3D - počítačový model společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s., pohled jihovýchodní (software LimA) [23]



Obr. 8.8 – Hluková mapa pro denní dobu vytvořená pomocí software LimA. V místě modré barvy (nejvyšší akustický tlak) se nachází kolejová brzda a váha. [23]

Byly navrženy a následně realizovány čtyři protihlukové zdi o celkové délce 680 m s výškou 3 – 4,5m. Mimo to byla navržena instalace rezonančně absorpčních tlumičů do výfukového potrubí dieselových lokomotiv a instalace tlumičů či clon s pohltivou plochou směrem ke zdroji hluku před žaluzie chlazení motorů a žaluzie kompresoru lokomotiv. I přes tato opatření však nedojde v určitých lokalitách ke splnění limitů, jelikož by ekvivalentní hladina hluku musela klesnout o 22 dB, což je proveditelné jen u realizace krytého nádraží. [23]



Obr. 8.9 – Realizace protihlukové bariéry Ostrava Bartovice





Obr. 8.10 – Realizace protihlukové bariéry Ostrava Bartovice

## 8.4 Absorbéry na koleji

Absorbéry mají za úkol eliminovat hluk a vibrace přímo na kolej a zabránit tak jejich šíření do okolního prostředí. Postupně se uplatňují především u tramvajové dopravy a to na delších úsecích odkrytého železničního svršku. Na celostátních a regionálních tratích v České republice je jejich užití pouze ve fázi zkoušek. V následujícím textu provedu srovnání dvou systémů – „Vossloh“ a „Corus“, které byly testovány na tratích SŽDC.

### 8.4.1 Provádění

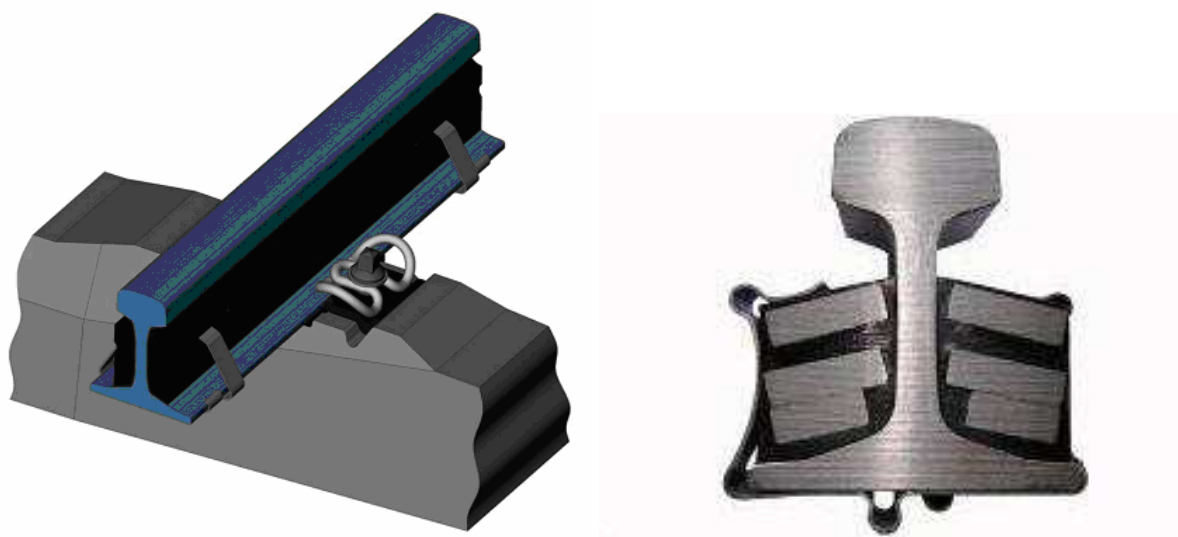
Absorbéry Vossloh se skládají z metrových bokovnic, které se kladou těsně za sebe. Nejprve je třeba sejmut ochrannou folii a poté je bokovnice přiložena ke kolejnici. Následně je pomocí speciální páky osazena jistící spona. Tento proces má nevýhody v tom, že neexistuje mechanizace na osazení bokovnice, tudíž je realizace poměrně pracná a zdloouvá. Aby byla linie absorbérů kontinuální, vzniká potřeba řezání bokovnic, což je rovněž pracné a časově náročné. Na rozdíl od provádění konkurenčního systému není systém „Vossloh“ bezodpadový.

Absorbéry corus se skládají ze zhruba 30 cm dlouhých bokovnic a usazují se na kolejnice mezi jednotlivými pražci. Nejprve je pomocí speciální linky nanášeno dvousložkové

lepidlo, následně je umístěna bokovnice, která je poté zajištěna jistící sponou. Tento systém provádění je tedy citlivější na povětrnostní vlivy. Oproti konkurenčnímu systému je systém „Corus“ dražší. [17]

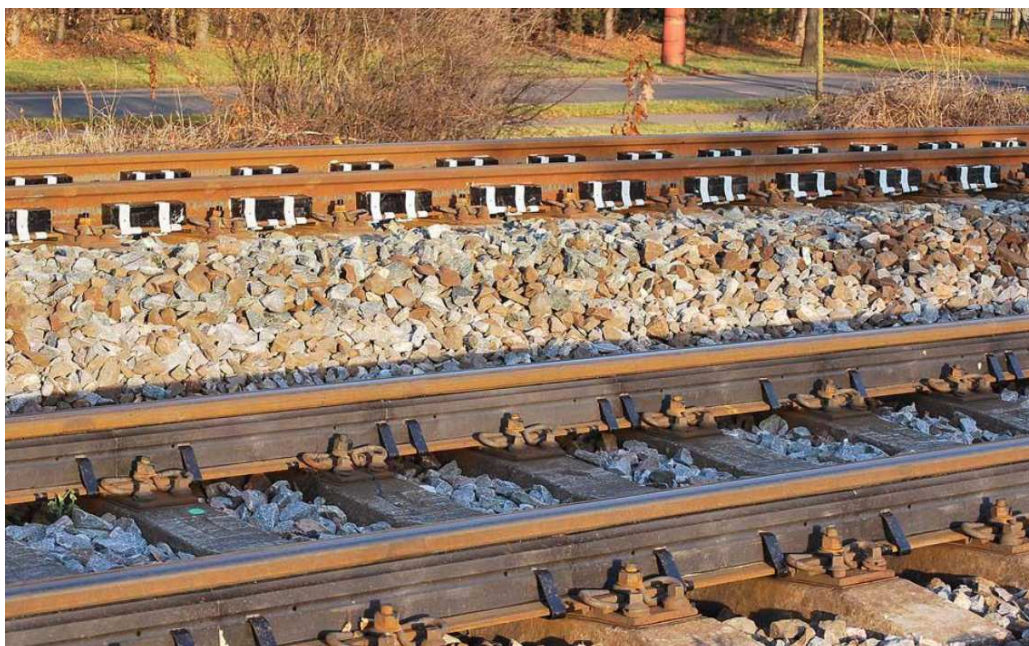
#### 8.4.2 Údržba absorbérů a železničního svršku

Oba systémy jsou bezúdržbové, tudíž nevyžadují žádné speciální opatření a kontroly. Rovněž neznemožňují provádění strojního čištění kolejového lože, podbíjení kolejnicových podpor a broušení kolejnic. Oba systémy omezují kontrolu kolejnice, vzniká tedy větší riziko přehlédnutí kolejnicového lomu. Mezi další nevýhody patří problémy při demontáži, trvanlivost a zhoršení podmínek při práci na železničním svršku.

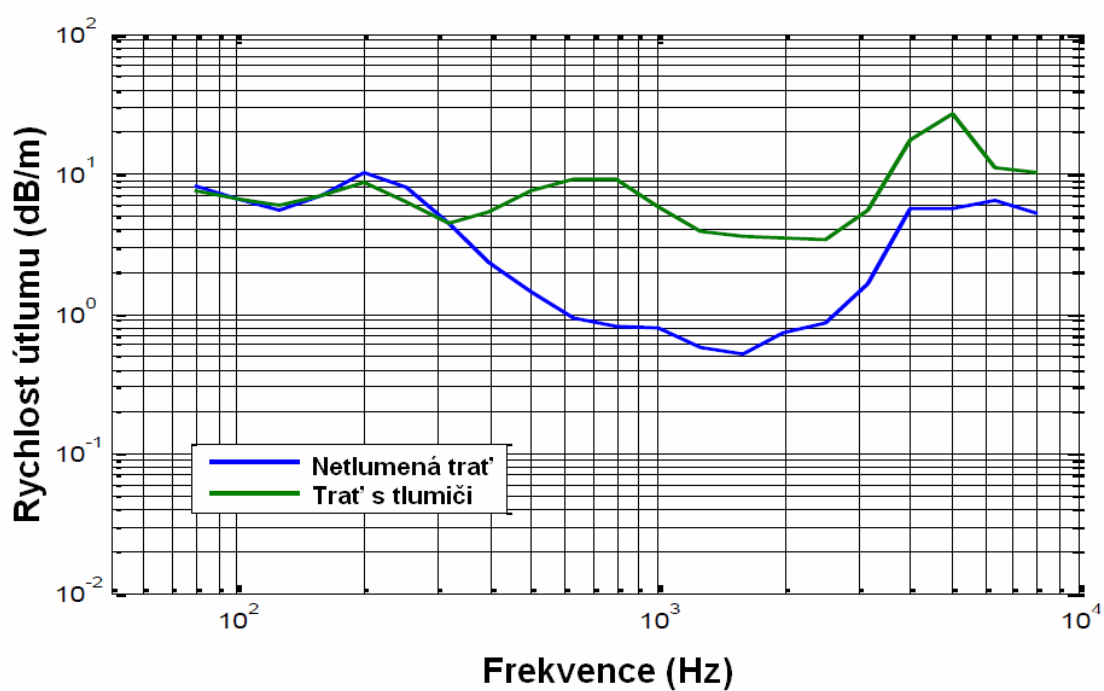


Obr. 8.11 – Vlevo systém bokovnic „Vossloh“, vpravo řez kolejnicí a absorbérem „Corus“

[17]



Obr. 8.12 – Absorbéry „Vossloh“ implementované na bližší koleji a absorbéry „Corus“ na koleji vzdálenější [17]



Obr. 8.13 – Rychlost útlumu se systémem „Corus“ a bez něj v závislosti na frekvenčním pásmu [17]





Obr. 8.14 – Absorbéry nijak výrazně neovlivňují práce na trati [17]

### 8.4.3 Srovnávací zkouška absorbérů

Zkoumaný úsek měří cca 750 m a nachází se na trati č. 231 Poděbrady – Libice nad Cidlinou. Měření bylo provedeno ve třech kampaních. Nejprve byla zjišťována ekvivalentní hladina hluku na trati bez jakéhokoliv zásahu. Poté byla provedena rekonstrukce, která spočívala ve výměně kolejí a implementaci pružného upevnění na původních pražcích a následné podbití a renovace kolejového lože. Následovala druhá měřicí kampaň. Následně byly na koleje instalovány absorbéry „Vossloh“ a „Corus“ a byla provedena závěrečná měřicí kampaň.

Během každé kampaně bylo změřeno více než 100 průjezdů vlaků. Všechny tyto vlaky byly rozděleny do pěti kategorií:

- 1.) Vlaky výhradně ze špalíkovou brzdou – méně než 3% (byly vyhodnocovány společně s kat.2)
- 2.) Vlaky se špalíkovou a kotoučovou brzdou – cca 38 %
- 3.) Elektrické jednotky ř. 471 – cca 22 %
- 4.) Nákladní vlaky – cca 31%
- 5.) Motorové jednotky – cca 9 %

Data ze všech měřicích kampaní byla roztríděna podle kategorií a vyhodnocována zvlášť pro první a druhou kolej. Z průjezdu každého vlaku byla vyhodnocena ekvivalentní

hladina akustického tlaku  $L_{Aeq}$  [dB(A)] za dobu průjezdu. Ze všech průjezdů byla rovněž provedena frekvenční analýza v třetinooktávovém pásmu.

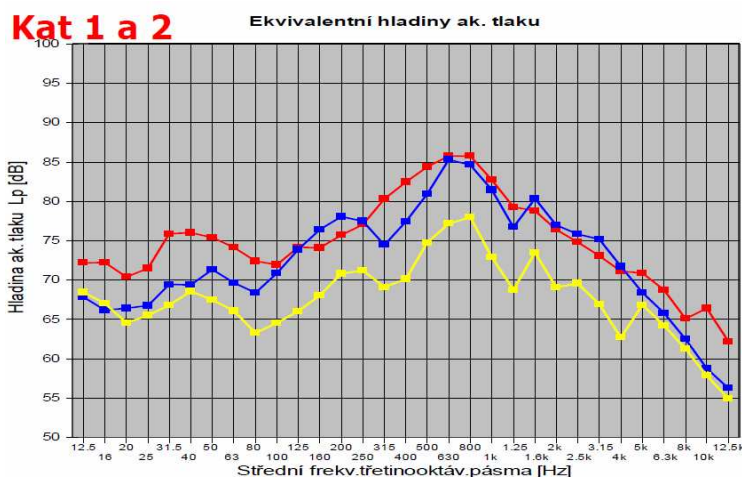
Tab. 8.6 – Výsledné hodnoty pro systém „Vossloh“

Kategorie	Před rekonstrukcí [dB(A)]	Po rekonstrukci [dB(A)]	S absorbéry Vossloh [dB(A)]	Útlum pouze rekonstrukce [dB(A)]	Útlum pouze abosorbéry [dB(A)]	Celkový útlum [dB(A)]
<b>1 a 2</b>	93,5	90,4	88,9	3,0	1,5	4,5
<b>3</b>	87,1	82,9	81,2	4,3	1,7	6,0
<b>4</b>	95,2	91,5	91,1	3,7	0,4	4,1
<b>5</b>	95,4	94,0	91,6	1,4	2,4	3,8
<b>Průměr</b>	<b>93,1</b>	<b>89,6</b>	<b>88,7</b>	<b>3,4</b>	<b>1,0</b>	<b>4,4</b>

Tab. 8.6 – Výsledné hodnoty pro systém „Corus“

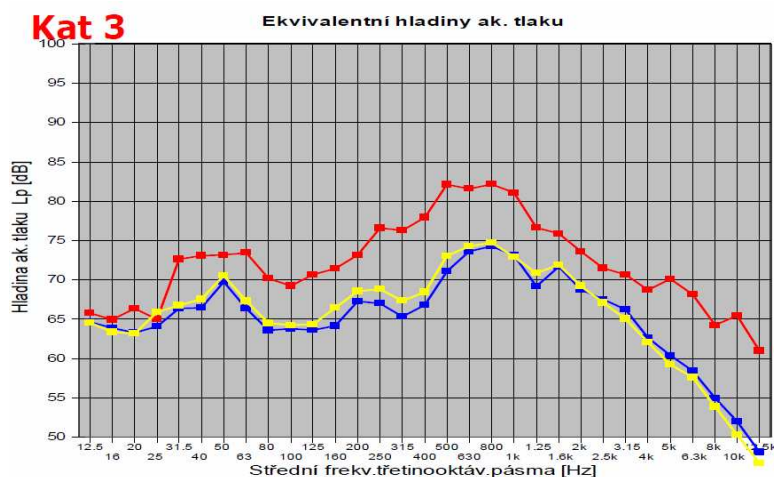
Kategorie	Před rekonstrukcí [dB(A)]	Po rekonstrukci [dB(A)]	S absorbéry Corus [dB(A)]	Útlum pouze rekonstrukce [dB(A)]	Útlum pouze abosorbéry [dB(A)]	Celkový útlum [dB(A)]
<b>1 a 2</b>	92,8	88,9	87,8	3,9	1,1	5,0
<b>3</b>	87,7	80,1	78,3	7,6	1,8	9,4
<b>4</b>	97,1	93,3	90,8	3,8	2,5	6,3
<b>5</b>	97,5	93,0	92,8	4,6	0,2	4,8
<b>Průměr</b>	<b>94,0</b>	<b>89,8</b>	<b>87,8</b>	<b>4,2</b>	<b>2,1</b>	<b>6,3</b>

V následujících grafech jsou červeně zaznamenány výsledky měření před rekonstrukcí trati, modře po provedení rekonstrukce a žlutě po instalaci absorbérů.[17]

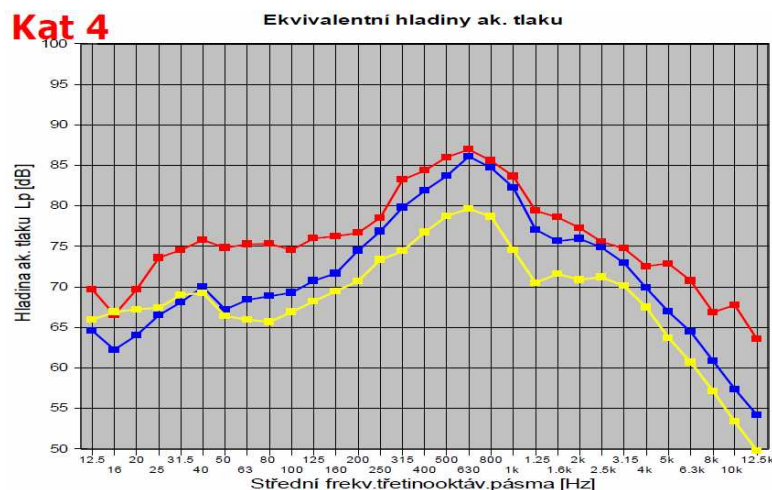


Obr. 8.15 – Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenci před rekonstrukcí, po rekonstrukci a po instalaci absorbérů „Vossloh“ u vlaků kategorie 1a 2 [17]

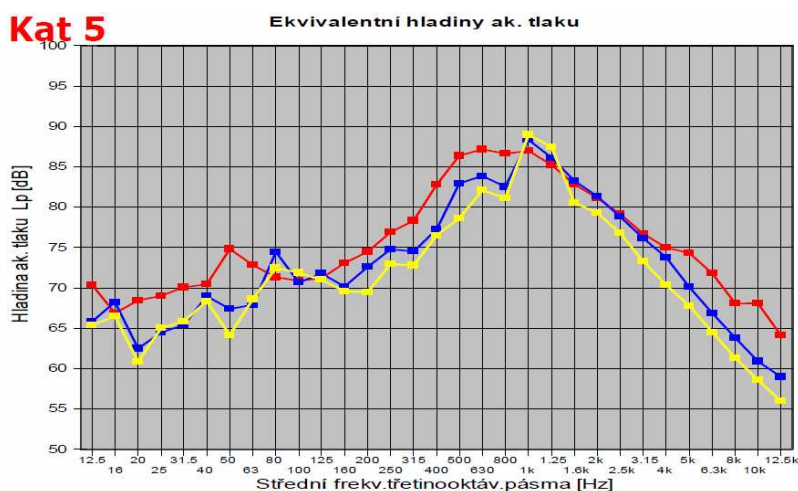




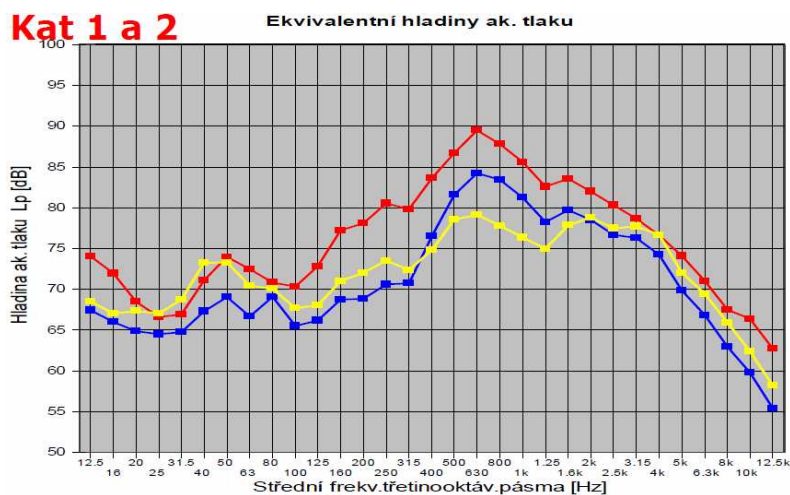
Obr. 8.16 – Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenci před rekonstrukcí, po rekonstrukci a po instalaci absorbérů „Vossloh“ u vlaků kategorie 3 [17]



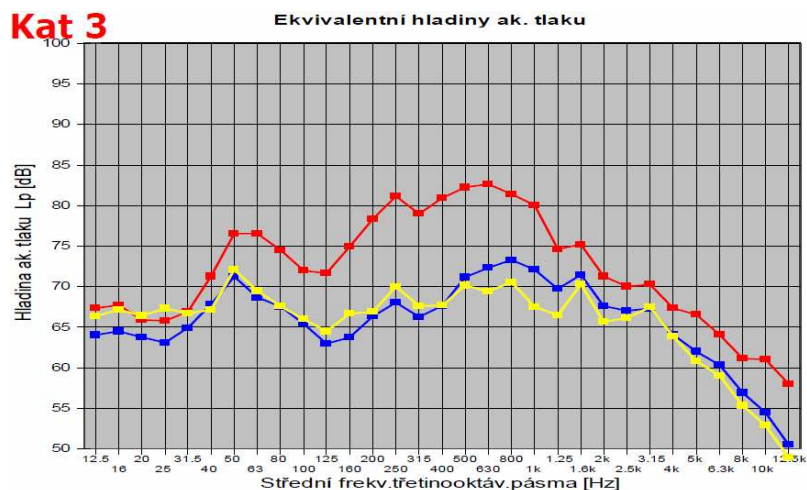
Obr. 8.17 – Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenci před rekonstrukcí, po rekonstrukci a po instalaci absorbérů „Vossloh“ u vlaků kategorie 4 [17]



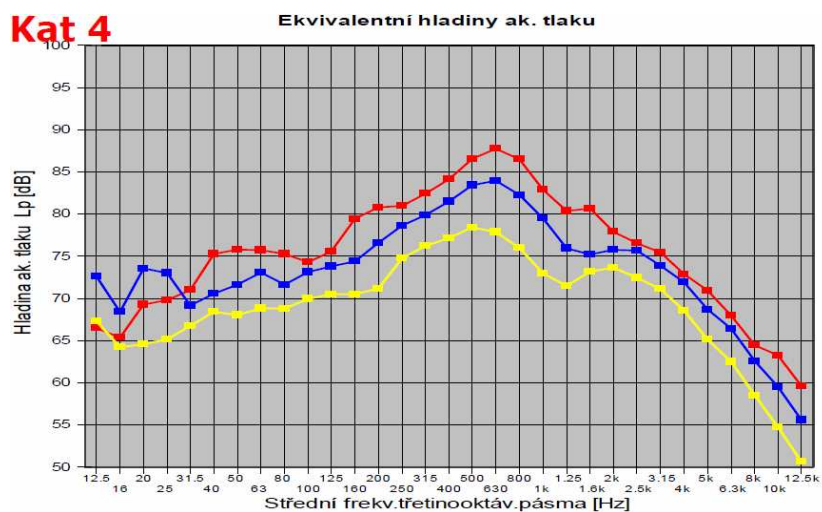
Obr. 8.18 – Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenci před rekonstrukcí, po rekonstrukci a po instalaci absorbérů „Vossloh“ u vlaků kategorie 5 [17]



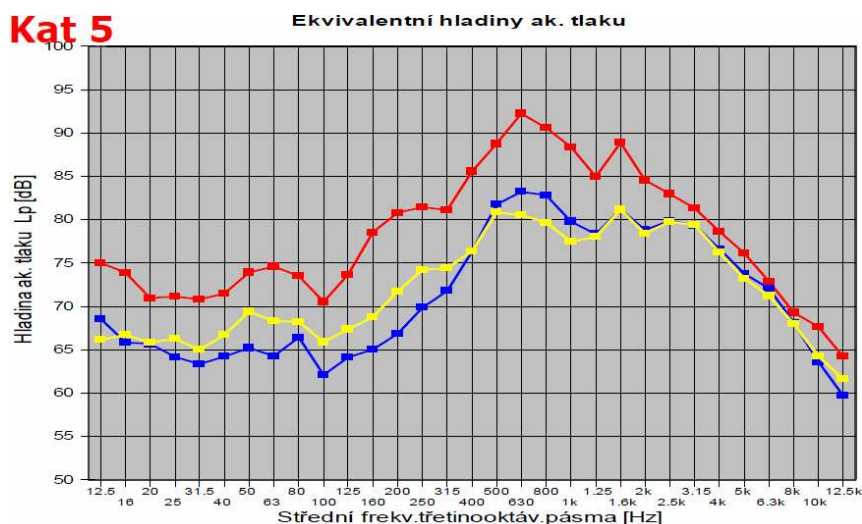
Obr. 8.19 – Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenci před rekonstrukcí, po rekonstrukci a po instalaci absorbérů „Corus“ u vlaků kategorie 1a 2 [17]



Obr. 8.20 – Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenci před rekonstrukcí, po rekonstrukci a po instalaci absorbérů „Corus“ u vlaků kategorie 3 [17]



Obr. 8.21 – Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenci před rekonstrukcí, po rekonstrukci a po instalaci absorbérů „Corus“ u vlaků kategorie 4 [17]



Obr. 8.22 – Hladina akustického tlaku v závislosti na frekvenci před rekonstrukcí, po rekonstrukci a po instalaci absorbérů „Corus“ u vlaků kategorie 5 [17]

#### 8.4.4 Vyhodnocení zkoušky

- Přestože částečná rekonstrukce železniční trati není tak efektivní jako úplná obnova s použitím pražců z bezpodkladnicovým upevněním, lze ji v tomto případě přisoudit majoritní podíl na celkovém snížení hlukové zátěže.
- Bokovnice jsou efektivní pouze u některých typů vlaků a to zejména u nákladních, kde dochází k výraznému útlumu.
- Výsledky měření hluku na 1. koleji po rekonstrukci jsou kontaminovány hlukem trakce, protože všechny vlaky po výjezdu ze stanice zrychlovaly.
- Absorbéry jsou nejefektivnější pouze ve frekvenčním pásmu 100 – 3000 Hz.
- Zejména při nižších frekvencích některých typů vlaků dochází při implementaci absorbérů k zvýšení hlukové zátěže.
- Absorbéry „Corus“ můžeme hodnotit jako efektivnější než absorbéry „Vossloh“. Celkově však nejsou oba systémy příliš efektivní, jelikož útlum zapříčiněný jejich implementací dosáhl maximálně 2 dB.

## 8.5 Protihluková konstrukce oken

Pro určení potřebné zvukotěsnosti oken musíme nejprve určit hladiny hluku v bezprostředním okolí budovy. Orientační hodnoty těchto hladin jsou uvedeny v tabulce VVV v závislosti na druhu okolního prostředí. Přesnější hodnoty je možné získat pouze měřením hladin hluku a jejich frekvenčního spektra. Zároveň tabulka obsahuje přibližné hodnoty požadované zvukotěsnosti oken.

Tab. 8.7 – Požadované hodnoty zvukotěsnosti oken

Umístění budovy	Okolní hladina hluku	Doporučené hodnoty pro uvedené činnosti	Požadovaná zvukotěsnost oken
Rezidenční zóna měst či vesnice, samoty	60 dB	Spánek 25 - 30 dB Odpočinek 30 - 35 dB Práce 35 - 50 dB	33 dB 27 dB 15 dB
Centra měst	70 dB	Spánek 25 - 30 dB Odpočinek 30 - 35 dB Práce 35 - 50 dB	43 dB 37 dB 25 dB
Dálnice, letiště celostátní dráhy, mimořádně rušné ulice	> 70 dB	Spánek 25 - 30 dB Odpočinek 30 - 35 dB Práce 35 - 50 dB	47 dB 43 dB 30 dB

Tab. 8.8 – Dle DIN 4109 rozlišujeme okna do 6 tříd podle absorpce hluku. V této tabulce je uvedena požadovaná absorpce pro jednotlivé třídy a jejich možné konstrukce.

Třída absorpce hluku	Počet dB, které okno dokáže absorbovat	Příklad konstrukce okna (tloušťka a vzdálenost skel) a náplň
1	25 - 29	4
2	30 - 34	4/16/4, Ar
3	35 - 39	6/16/4, 60% Ar, 40% SF6
4	40 - 44	9GH/16/6, Ar
5	45 - 49	11,5GH/20/9,5Gh, 60% Ar, 40% SF6
6	> 50	?

Instalace protihlukových oken je poměrně efektivní opatření proti hluku. Na rozdíl od jednoúčelných protihlukových stěn přináší jejich instalace další pozitiva, jako například zvýšení estetiky a hodnoty budovy, snazší údržba a delší životnost oproti klasickým dřevěným či plastovým oknům atd. Asi jedinou nevýhodou je jejich poměrně vysoká cena. Efektivita protihlukových oken je rovněž velmi závislá na kvalitě práce při výrově a instalaci.

## 9 Albrechtice u Českého Těšína

### 9.1 *Situace a stávající stav*

Zájmová lokalita se nachází v katastrálním území Albrechtice u Českého Těšína v místní části Paseky. Daným územím prochází dvoukolejná regionální trať 321 Havířov – Český Těšín a vlečka OKD. Nejsevernější kolej (vlečka OKD) není elektrifikovaná, zbývající koleje (trať č. 321) jsou vybaveny trakčním vedením. Trať je vedena v náspu, jehož výška se zvětšuje ve směru staničení. Do staničení 9,675 trať klesá ve sklonu 3,5 ‰, poté je trať vedena v nulovém podélném sklonu. Směrově tvoří trať v dané lokalitě oblouk s přechodnicemi o poměru 670 m. Železniční svršek vlečky OKD je tvořen kolejnicemi S49, které jsou upevněny svrkami ŽS4 k žebrovým podkladnicím, dále dřevěnými pražci a kolejovým ložem o tloušťce 35 cm. Trať č. 321 má obdobné složení, nachází se zde však kolejnice R65. U levé koleje je pak navíc dřevěné pražce nahrazeny betonovými pražci SB8. V daném úseku se nenachází žádná výhybka ani křížení tratí, kolejnicové styky jsou svařované.



Obr. 9.1 – Pohled na současný stav Albrechtice

V zájmové lokalitě se nachází 5 obytných budov – rodinných domů, 4 na severní a 1 na jižní straně trati. 4 z těchto objektů se nalézají v ochranném pásmu železnice. Vzdálenost mezi nejbližším objektem a osou přilehlé koleje je 15 m. Okolní krajina je porostlá nízkou zelení, jedná se tedy o pohltivý terén. V lokalitě se nachází několik stromů, nejsou však dostatečně vysoké a netvoří však souvislý pás, takže hluk eliminují pouze minimálně. Ve staničení 9,640 00 kříží trať místní komunikace Osvobození. Jedná se o mimoúrovňové



křížení délky 11 m, se světlou výškou 3,9 m pro pozemní komunikaci. Trať je na mostním objektu vedena v průběžném šterkovém loži.

Vzhledem k absenci přesných hodnot ekvivalentní hladiny hluku a jejího frekvenčního složení, bude ve všech variantách uveden pouze jakýsi nástin řešení. Pro konkrétnější návrh a jeho hodnocení by bylo nutné provést měření a vypracovat model šíření hluku v dané lokalitě.

## **9.2 Varianta č. 1 – protihluková stěna**

### **9.2.1 Návrh**

Ve variantě č. 1 je navržena protihlukovou zeď z betonových dílců Liapor a to v staničení 9,552 74 až 9,716 86. Zeď se nachází ve vzdálenosti 3,2 m od osy nejbližší koleje. Její výška činí 2,4 m nad temenem nejbližší kolejnice. Je tvořena betonovými pohltivými panely Liapor o délce 4 m. Upevněny jsou do železo-betonových sloupů. Tyto jsou založeny do válcových patek výšky 1,5 – 2,5 m, v závislosti na výšce. Kolem sloupů trakčního vedení jsou použity sloupy umožňující boční odklon stěny o 45°. V těchto místech by bylo však nutné upravit železniční násep. Nad mostem je pak navržena ocelová konstrukce z IPE profilů délky 14 m, doplněná o protihlukové desky z PMMA. Užití tohoto prvku ale vyžaduje rekonstrukci mostní římsy.



Obr. 9.2 – Vizualizace – pohled na mostní konstrukci



Obr. 9.3 – Možné uspořádání v blízkosti trakčního vedení

## 9.2.2 Hodnocení

Vzhledem k zákonitostem, podle kterých se hluk šíří přes překážky (kap. 4) je velmi důležitá délka clony. Lze obecně říci, že aby byla protihlukový zeď efektivní, musí mít značný přesah oproti objektům, které má chránit. Pokud tedy objekty netvoří rozsáhlejší souvislou zástavbu (jako je tomu i v tomto případě), je toto opatření i přes velkou účinnost neefektivní.

Hlavním úkolem navržené zdi je eliminovat **valivý** hluk ze všech tří kolejí, který tvoří podstatnou část hlukových emisí. Její výška (2,4 m) však neumožňuje účinnou ochranu před hlukem trakce (především nákladních vlaků jedoucích po vlečce OKD) a před hlukem sběrače na zbývajících kolejích. Aby stěna eliminovala i tento hluk, musela by se její výška pohybovat mezi 4 – 6 m. Takovéto opatření by však bylo o 80 – 100 % nákladnější než původně navržená varianta. Jak už však bylo řečeno, toto opatření chrání pouze oblast severně od trati a to s poměrně řídkou zástavbou, je opatření velmi neekonomické a tudíž neefektivní.



Obr. 9.4 – Možná podoba konstrukce na mostě

### **9.3 Varianta č. 2 – rekonstrukce jízdní dráhy a instalace absorbérů**

#### **9.3.1 Návrh**

Ve variantě č. 2 jsem navrhl výměnu tuhého upevnění kolejnic za pružné a implementaci protihlukových absorbérů na jízdní dráhu všech tří kolejí. Konkrétně se jedná o nahrazení stávajících svěrek ŽS4 pružnými svěrkami Skl 12, vložení pryžové podložky pod patu kolejnice a montáž bokovnice „Corus“, kterými se zabývá podkapitola 8.4.

#### **9.3.2 Hodnocení**

Tyto opatření jsou efektivní proti valivému hluku, který tvoří při rychlosti 80 km/h majoritní část hlukových emisí vydávaných pohybem vozidla. Pro obě koleje trati č. 321 by mělo být toto opatření velmi efektivní.

U vlečky OKD (nízké rychlosti vlaků a nezávislá trakce) převažuje hluk hnacího stroje, proti němu jsou však absorbéry neúčinné. Na druhou stranu zde tvoří ne zcela zanedbatelnou část i valivý hluk, který umí eliminovat právě absorbéry. U zastaralého vozového parku nákladních vozidel dochází poměrně často ke geometrické asymetrii na



dvojkolí, což způsobuje rytmické rázy a emisi impaktního hluku. Proti tomuto jevu jsou rovněž absorbery účinné a umí jej alespoň z části eliminovat. Bokovnice „Corus“ prokázaly navíc svou efektivitu u zkoušek zmíněných v kap. 4, kde největšího útlumu hluku dosahovaly právě u nákladních vlaků.

## **9.4 Varianta č. 3 – snížení rychlosti**

### **9.4.1 Návrh**

Snížení rychlosti z 80 km/h na 50 km/h u obou kolejí trati č. 321.

### **9.4.2 Hodnocení**

Obecně platí, že emitovaný hluk je přímo úměrný rychlosti vozidla. Tato zákonitost platí zejména při rychlostech na 50 km/h, kde hlavní složku tvoří valivý hluk. Snížení rychlosti je pak jednoduché opatření s minimálními zaváděcími náklady. Na druhou stranu je tato varianta z dlouhodobého hlediska nevýhodná a omezuje provoz na trati. V tomto případě navíc vůbec neřeší hluk nákladních vlaků na vlečce OKD, které jezdí rychlostí 40 km/h.

## **9.5 Varianta č. 4 – protihluková opatření na budově**

### **9.5.1 Návrh**

Varianta č. 4 spočívá ve výměně stávajících oken přilehlých rodinných domů za okna vícevrstvá. V případě velmi intenzivního hluku by pak byla realizována ještě další ochranná opatření na fasádě domu (např. protihlukové omítky, obložení, atd.). Ke konkrétnímu návrhu je však potřeba exaktní měření ekvivalentní hladiny hluku a rovněž model jeho šíření v daném místě. Rovněž je nutné uvažovat dispozici místností v domě, současný stav a protihlukové vlastnosti fasády. Z tohoto důvodu nelze variantní návrh č. 4 více konkretizovat.

### **9.5.2 Hodnocení**

Výměna oken, resp. další opatření na fasádě budov jsou mimořádně efektivní. To znamená, že je dosaženo (relativně) velkého útlumu při (relativně) nízkých nákladech. Navíc

je tato úprava vnímána majiteli budov velmi pozitivně a bez výhrad. Jak již bylo uvedeno dříve, výměna stávajících oken za protihluková zvyšuje finanční a estetickou hodnotu domu a nemá negativní vliv na krajinu a životní prostředí. Jedinou, avšak velmi významnou nevýhodou tohoto opatření je, že má vliv pouze na hluk v budovách a nijak neovlivňuje hluk vnější.

## 10 Opava Kylešovice

### 10.1 *Situace a stávající stav*

Zájmová lokalita se nachází na jihozápadním okraji Opavy, v katastrálním území Kylešovice. Daným územím prochází jednokolejná regionální trať 314 Opava – Jakartovice, resp. trať 315 Opava – Hradec nad Moravicí. Kolej není elektrifikovaná, provoz na ni je zajištěn tažnými vozidly motorové trakce. Trať je vedena zároveň s okolním terénem, ve směru staničení přechází v mírný násep. Do staničení 1,736 trať klesá ve sklonu 2,11 ‰, poté je trať vedena ve sklonu 2,39 ‰. Směrově tvoří trať v dané lokalitě přímý úsek. Železniční svršek vlečky je tvořen kolejnicemi S49, které jsou upevněny svěrkami T5 a T6 k rozponovým podkladnicím T8, dále dřevěnými pražci a kolejovým ložem o tloušťce 35 cm. V daném úseku se nenachází žádná výhybka ani křížení tratí, kolejnicové styky jsou svařované.

V zájmové lokalitě se nachází několik desítek obytných budov – rodinných domů po obou stranách trati. Podstatná část z těchto objektů se nalézají v ochranném pásmu železnice. Podstatné je ovšem to, že velká část těchto budov hlavně v jižní části byla postavena v nedávné minulosti. K blízkosti trati bylo zřejmě přihlédnuto už při projekci těchto staveb, proto lze předpokládat, že v budovách jsou uplatněny některé protihlukové opatření.

Vzdálenost mezi nejbližším objektem a osou přilehlé koleje je 20 m (jedná se o nejnovější zástavbu). Okolní krajina je porostlá nízkou zelení, jedná se tedy o pohltivý terén. V lokalitě se nachází několik stromů, netvoří však souvislý pás, takže hluk eliminují pouze minimálně. Ve staničení 1,730 kříží trať místní komunikace Gudrichova. Jedná se o úrovnňové křížení délky 10,5 m.

Stejně jako v Albrechticích u Českého Těšína bude vzhledem k absenci přesných hodnot ekvivalentní hladiny hluku ve všech variantách uveden pouze jakýsi nástin řešení. Pro konkrétnější návrh a jeho hodnocení by bylo nutné provést měření a vypracovat model šíření hluku v dané lokalitě.

## **10.2 Varianta č.1 – zemní val**

### **10.2.1 Návrh**

Ve variantě č. 3 je navržen zemní val doplněný o vhodnou zeleň. Val je umístěn na jižní straně trati, začíná ve staničení 1,735 00 (prakticky hned po křížení trati s pozemní komunikací) a končí ve staničení 2,300 00. Popřípadě by mohl být alternativně umístěn pouze v místě nejhustší zástavby a v místech nejmenší vzdálenosti budov od trati, tedy v km 2,010 00 – 2,310 00. Val je vysoký 2 m a u paty má šířku 8 m. Na povrchu vysazena zeleň (nizká i vzrostlá). Alternativně může být jedna svah u trati nahrazen gabionovou stěnou, čímž se zmenší prostor, který val bude zabírat. Rovněž je možné nahradit val stěnou pouze z gabionů.

### **10.2.2 Hodnocení**

Výhoda zemního valu spočívá v tom, že nenarušuje krajinu, ale naopak může být významným krajinnotvorným prvkem. Proto bývá použit tam, kde se z estetického hlediska nehodí zeď. Z hlediska protihlukové ochrany se jedná o poměrně efektivní opatření, který za určitých okolností dokáže tlumit hluky všech zdrojů. V tomto konkrétním případě bude účinnost valu značně omezena z důvodu malé výšky. Val bude efektivně tlumit hluk vzniklý kontaktem kolo – kolejnice a hluk vzniklý bržděním, ale bude málo účinný proti hluku trakce. Tento problém může vyřešit vysazení zeleně na vrchol a svahy valu. To sebou ale přináší další negativa, jako např.: efektivita opatření až po určité době, v případě opadavých dřevin efektivita pouze část roku a nebezpečí skácení stromu na trať při nepříznivých povětrnostních podmínkách. Dalším negativem valu je však ekonomická náročnost provedení. Jelikož se jedná se o val dlouhý 570 resp. 300 m, půjde v případě realizace o velmi nákladnou investici. Hlavní problém však zřejmě bude s pozemky, na kterých má být val realizován. Ten je celý navržen na pozemcích vlastníků nemovitostí, proto je nutné počítat s jejich nesouhlasnými stanovisky.

## **10.3 Varianta č.2 – obnova železničního svršku**

### **10.3.1 Návrh**

Ve variantě č. 2 jsem navrhl výměnu tuhého upevnění kolejnic za pružné a výměnu kolejnice popř. její zbroušení. Konkrétně se jedná o nahrazení stávajících svěrek T5 a T6 a rozponových podkladnic T8 sestavou železničního svršku s pružným upevněním, vložení pryžové podložky pod patu kolejnice a pod podkladnici.

### **10.3.2 Hodnocení**

Z důvodu častého brždění a akceleraace v blízkosti zastávky Opava Kylešovice se mohou objevit na kolejnici zvlnění povrchu. Tato vada zvyšuje především valivý hluk, který je možno výrazně eliminovat právě již zmíněným opatřením. Při rychlosti do 50 km/h však převažuje u motorových jednotek hluk trakce, na který nemá sestava železničního svršku prakticky žádný vliv. Rovněž impaktní hluk, který lze eliminovat pružným upevněním s pryžovými podložkami, se zde z důvodu bezstykové koleje a absence výhybek nevyskytuje ve významnějším rozsahu. Z tohoto důvodu nebude toto opatření efektivní a útlum způsobený touto úpravou bude malý.

## **10.4 Varianta č. 3 - zeleň**

### **10.4.1 Návrh**

Varianta č. 3 spočívá ve vysazení vysokých dřevin podél trati. Vzhledem k velikosti řešené délce trati jsem rozdělil opatření v lokalitě na 4 skupiny.

První skupina se nachází na levé straně trati ve staničení 1,740 00 – 2,310 00, tedy podél celé jižní strany trati. Jedná se o vysazení jedné nebo více řad tují (popř. dřevin s podobnými vlastnostmi) na pozemcích majitelů budov v bezprostřední blízkosti oplocení. Toto opatření je v současné době již částečně uplatňováno. Tuje je zvolena proto, že neopadá, tvoří souvislou bariéru již od povrchu terénu a je málo pravděpodobné její zlomení a

zablokování trati. V dalších liniích by pak mohly následovat ovocné stromy, popř. jiné okrasné dřeviny, aby bylo dosaženo většího tlumícího efektu.

Druhá skupina (km 1,740 00 – 2,000 00) a čtvrtá skupina (km 2,160 00 – 2,310 00) – obě na pravé straně trati se skládají z vysazení tují (popř. jiných vhodných dřevin) mezi trať a místní obslužnou komunikaci a z vysazení ovocných stromů (popř. okrasných dřevin) na soukromé pozemky. Mezi tratí a místní komunikací se nachází poměrně úzký pás, do kterého však lze umístit vhodnou zeleň. Toto opatření je již částečně realizováno podél ulice U Zastávky ve staničení 2,160 00 – 2,310 00. Jsou zde však vysazeny opadavé dřeviny s poměrně velkou vzájemnou vzdáleností, což je z hlediska protihlukových opatření neefektivní. Navíc je tato zeleň udržovaná jen sporadicky a proto hrozí při nepříznivých povětrnostních vlivech padání zlomených větví na trať.

Další (již částečně realizovanou) protihlukovou bariéru tvoří zeleň na přilehlých soukromých pozemcích. I v tomto případě je zeleň vysazena spíše jednotlivě a proto není proti šíření hluku účinná.

Třetí skupina je navržena v km 2,000 00 – 2,500 00 na prozatím nezastavěné parcele č. 2722. Zde by mohl být realizován prakticky neomezeně široký pás zeleně. V literatuře se uvádí, že aby byl tento pás efektivní proti hluku, musel by být široký minimálně 20 m. Při vhodné skladbě zeleně však je možné tento rozměr podstatně zmenšit. V případě budoucího rozdělení a zastavění této parcely by pak bylo zajištěno efektivní hlukové stínění.

#### **10.4.2      Hodnocení**

Zeleň je relativně levná protihluková zábrana, které navíc působí v krajině naprosto přirozeně. Na druhou stranu má mnoho negativních vlastností, které snižují její celkovou efektivitu (opadá, vyžaduje velkou mocnost resp. šířku, není efektivní na eliminaci hluku z dopravy a další vlastnosti popsané v předchozích kapitolách). Přesto však je vysazení dřevin v této lokalitě žádoucí, protože vytváří přirozenou překážku mezi zdrojem a příjemcem hluku. Tím se zlepší subjektivní vnímání nežádoucího hluku, který pak působí méně rušivě, přestože je skutečný útlum malý.

## **10.5 Varianta č.4 – obnova vozového parku**

Na tratích č.314 a č.315 se vlaky skládají pouze z motorové jednotky 810 resp. 809. Tyto vozy se vyráběly v letech 1973 až 1982, dnes už jsou tedy poměrně zastaralé a z hlediska hlukových vlastností nevyhovující. Na vině je jednak již zmiňovaný brzdový systém, motor, zastaralé technické řešení a celková degradace vozu, způsobená třicetiletým provozem. Z těchto důvodů je vhodné nahrazení současného vozového parku novými vozy nebo soupravami, které prošly celkovou přestavbou. Na tratích, kde již k výměně došlo, byly většinou původní vozy 810 a 809 nahrazeny soupravami 814–914 (Regionova). Tyto jednotky vyrábí šumperská společnost Pars nova a.s. a jedná se o přestavbu vozů řady 810 a přípojného vozu 010. Motorové jednotky 814–914 však v současné době nesplňují hlukové limity požadované směrnicí TSI – hluk. Důvodem je především užití litinových brzdových špalíků a dále celková rekonstrukce, kde nebylo užito žádných výraznějších akustických optimalizací. Oproti původním vozidlům ř. 810 nedošlo z hlediska hluku k žádnému zlepšení.

O tom, že lze provést rekonstrukci stávajících vozidel tak, aby TSI – hluk splňovalo, se srovnatelnými náklady svědčí i rekonstrukce ZSSK, která byla realizována ŽOS Zvolen. Tato společnost se zabývá obdobným projektem jako Pars nova a.s., tedy přestavbou stávajících motorových jednotek. V jejich případě jde o jednotku 813-913, která sice není nízkopodlažní, zato splňuje hlukové emisní limity podle TSI – hluk s poměrně velkou rezervou. Důvodem je užití kovokeramických brzdových špalíků DIAFRIKT K4.

V roce 2007 byla společností Pars nova a.s. zkušebně vybavena třívozová rekonstruovaná motorová jednotka řady 814.2-014-814.2 nekovovým brzdovým špalíkem typu „L“ doposud neschválené řady 3325 od společnosti Federál Mogul. Následně byly se soupravou provedeny hlukové zkoušky dle TSI – hluk, které ukázalo výrazné zlepšení oproti klasickým brzdám s litinovými špalíky. Bylo by tedy velmi efektivní vybavit všechny dosavadní motorové jednotky Regionova homologovaným typem nekovových brzdových špalíků, čímž by se výrazně zlepšily jejich akustické vlastnosti.

## **10.6 Varianta č.5 – protihluková zeď**

### **10.6.1 Návrh**

Varianta č. 5 spočívá ve výstavbě protihlukových zdí podél trati. Vzhledem k velikosti řešené délce trati jsem opět rozdělil opatření v lokalitě na 4 části.

První část (resp. první protihluková zeď) se nachází na levé straně trati ve staničení 1,740 00 – 2,310 00, tedy podél celé jižní strany trati. Jedná se o železo-betonovou stěnu Liapor v místech současného oplocení. Navrhovaná zeď má pohltivý povrch a je vysoká 2,5 – 3 m a to z důvodu menšího narušení krajiny. Tato zeď by tedy eliminovala valivý hluk, hluk trakce by ale zůstal neovlivněn.

V místě zastávky (km 1,730 00 – 1,790 00) jsem navrhl rovněž betonovou protihlukovou zeď Liapor stejné výšky. Jako alternativa železobetonové konstrukce může v tomto případě sloužit průhledná stěna z PMMA. Současně s realizací clony by bylo vhodné provést rekonstrukci nástupiště a přístřešku.

Ve staničení 1,800 – 2,000 a 2,160 – 2,310 jsem navrhl rovněž protihlukovou zeď. V těchto místech jsem se snažil eliminovat i již zmíněný hluk trakce, proto je zde zeď navržena vyšší (4 m).

### **10.6.2 Hodnocení**

V tomto případě by bylo nezbytné provést konkrétní měření hluku a určení jeho šíření a útlumu. Zatímco v km 1,830 – 2,310 by zřejmě nízká zeď (2,5 m) nebyla vůbec efektivní, její realizace v okolí nástupiště by výrazně snížila šíření hluku, jelikož zde podstatnou část zvukových emisí tvoří kvílivý hluk.

Provedení vysokých stěn (4 m) ve staničení 1,830 – 2,310 by sice eliminovalo i hluk trakce, na druhou stranu by takto vysoká překážka nepůsobila v krajině přirozeně (viz vizualizace).





Obr. 10.1 – Vizualizace protihlukové stěny (pohled z konce nástupiště)



Obr. 10.2 – Vizualizace protihlukové stěny



Obr. 10.3 – Vizualizace protihlukové stěny

## 11 Závěr

V souladu se zadáním diplomové práce jsem se seznámil se všemi podklady týkající se vzniku, šíření a eliminace hluku na regionálních tratích SŽDC SDC Ostrava. Získané znalosti jsem pak aplikoval na vlastní návrhy řešení ve dvou konkrétních lokalitách – Opava Kylešovice a Albrechtice u Českého Těšína. Všechny navržené varianty jsem vyhodnotil a doporučuji následující řešení:

**Albrechtice u Českého Těšína** – Snížení rychlosti a stavba protihlukové bariéry nejsou prakticky nerealizovatelné, kvůli velkým ekonomickým nákladům a malé efektivitě. Optimální opatření spočívá v kombinaci zbylých dvou opatření, kdy okna efektivně tlumí tluk uvnitř staveb a absorbéry eliminují dominantní valivý hluk.

**Opava Kylešovice** – Vzhledem k zastaralému vozovému parku bude v horizontu několika let nutná jeho obměna. Ideální by bylo zařazení vozidel s kompozitními brzdovými špalíky a protihlukovými opatřeními eliminující hluk motoru.

Ze stavebních opatření navrhuji zřízení protihlukové zdi v blízkosti zastávky a vysazení souvislých pásů zeleně. Vzhledem k poměrně malé intenzitě provozu by byly rozsáhlejší opatření neefektivní.

## Seznam použitých pramenů:

- [1] ČSN ISO 1996-1. *Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 25s
- [2] ČSN EN ISO 3095. *Železniční aplikace - Akustika – měření hluku vyzařovaného kolejovými vozidly*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 34s
- [3] ČD S3 *Železniční svršek* (včetně změn do r. 2010)
- [4] LIBERKO, Miloš. *Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy*. Brno : VÚVA, 1991. 52 s. ISBN 80-85124-07-6.
- [5] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Praha : ČVUT, 2009. 400 s. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [6] KREJČÍŘÍKOVÁ, Hana; ŠPAČKOVÁ, Helena. *Dopravní stavby : Část: Kolejová doprava*. Praha : ČVUT, 2003. 75 s. ISBN 80-01-02444-X.
- [7] JEDLIČKA, Jiří. Protihlukové stěny. In *Protihlukové stěny* [online]. Brno : Centrum dopravního výzkumu, 19.3.2010 [cit. 2010-11-29]. Dostupné z WWW: <[www.cdv.cz/file/seminar-skanska-protihlukove-steny/](http://www.cdv.cz/file/seminar-skanska-protihlukove-steny/)>.
- [8] HLAVÁČEK, Jan, et al. Metodika pro měření akustických parametrů kolejových vozidel TSI. In HLAVÁČEK, Jan . *Databáze hlukových zdrojů na železnici* [online]. Praha : VUZ, 18.12.2006 [cit. 2010-11-29]. Dostupné z WWW: <[www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/D88D905D-9816-40BE-962F-7B6A9BC020F4/0/Metodika026\\_2006.pdf](http://www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/D88D905D-9816-40BE-962F-7B6A9BC020F4/0/Metodika026_2006.pdf)>.
- [9] *Hluk & emise* [online]. 2007 [cit. 2010-11-29]. Hluk. Dostupné z WWW: <<http://hluk.eps.cz/hluk/>>.
- [10] *Liadur* [online]. 2010 [cit. 2010-11-29]. Protihlukové stěny. Dostupné z WWW: <[www.liadur.cz/](http://www.liadur.cz/)>.
- [11] *Pirell.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-11-29]. Broušení kolejnic. Dostupné z WWW: <[www.pirell.cz/sluzby/divize-zeleznici-svrsek/brouseni-vyhybek-a-kolejnic/brouseni-kolejnic.htm](http://www.pirell.cz/sluzby/divize-zeleznici-svrsek/brouseni-vyhybek-a-kolejnic/brouseni-kolejnic.htm)>.
- [12] *Doska.cz* [online]. 2005 [cit. 2010-11-29]. Traťová zařízení na ošetření kolejnic. Dostupné z WWW: <[http://www.doska.cz/tratova\\_zarizeni.html](http://www.doska.cz/tratova_zarizeni.html)>.
- [13] HUDEČEK, Leopold. *Podklady pro studium a přednášky*. Ostrava : VŠB - TU, 2010.
- [14] HLAVÁČEK, Jan ; KONEČNÝ, Jiří ; SEDLÁČEK, Radek. Postup implementace „TSI – hluk“ v České republice, současný stav, možnosti řešení, stanovisko dopravce. In *Vědeckotechnický sborník ČD č. 23/2007* [online]. Praha : 2007 [cit. 2010-11-29]. Dostupné z WWW: <[www.cdail.cz/VTs/CLANKY/vts23/2302.pdf](http://www.cdail.cz/VTs/CLANKY/vts23/2302.pdf)>.

- [15] *ROMAnsro.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-11-29]. Protihlukové stěny PMMA. Dostupné z WWW: <[www.romansro.cz/protihluk/PHS-PMMA.html](http://www.romansro.cz/protihluk/PHS-PMMA.html)>.
- [16] *Ekoaudit.cz* [online]. [cit. 2010-11-29]. Seznam platné legislativy. Dostupné z WWW: <[www.ekoaudit.cz/REGISTR/hlukaneionozujicizareni/seznaqmplatlegislahluk.htm](http://www.ekoaudit.cz/REGISTR/hlukaneionozujicizareni/seznaqmplatlegislahluk.htm)>.
- [17] Možnosti řešení hlukové zátěže na železniční infrastruktuře prostřednictvím kolejových absorbérů hluku [online]. Poděbrady : SZDC, 2010 [cit. 2010-11-29]. Dostupné z WWW: <[www.szdc.cz/dalsi-informace/konference-a-seminare/hluk-podebrady.html](http://www.szdc.cz/dalsi-informace/konference-a-seminare/hluk-podebrady.html)>.
- [18] *Katedra železničních staveb, ČVUT - Fakulta stavební* [online]. 2010 [cit. 2010-11-12]. Protihluková opatření. Dostupné z <[http://kzs.fsv.cvut.cz/4/yea/YEA\\_6.pdf](http://kzs.fsv.cvut.cz/4/yea/YEA_6.pdf)>
- [19] *Bonatrans.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-11-29]. Tlumiče hluku Bonatrans. Dostupné z WWW: <[www.bonatrans.cz/cz/tlumice-hluku-bonatrans.html](http://www.bonatrans.cz/cz/tlumice-hluku-bonatrans.html)>.
- [20] *K-report.net* [online]. 2010 [cit. 2010-11-29]. Koridory. Dostupné z WWW: <[www.k-report.net/koridory/ktechnol.html](http://www.k-report.net/koridory/ktechnol.html)>.
- [21] *SZDC.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-11-29]. Běžná kolej. Dostupné z WWW: <[www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice/zeleznici-svrsek/bezna-kolej-2.html](http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice/zeleznici-svrsek/bezna-kolej-2.html)>.
- [22] *Proženy.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-11-29]. Zakládáme živý plot. Dostupné z WWW: <[www.prozeny.cz/magazin/bydleni-a-zahrada/kvetiny-a-zahrada/13572-zakladame-zivy-plot-prakticke-rady-fg](http://www.prozeny.cz/magazin/bydleni-a-zahrada/kvetiny-a-zahrada/13572-zakladame-zivy-plot-prakticke-rady-fg)>.
- [23] Rozřadovací nádraží ArcelorMittal Ostrava a.s. v Ostravě-Bartovicích : Hluková studie. In *IDENTIFIKACE HLAVNÍCH ZDROJŮ HLUKU SPOLEČNOSTI ArcelorMittal Ostrava a.s.*. Brno : AKUSTING, spol. s r.o., , 2008.

## Seznam příloh:

- 1.1 Situace - Albrechtice u Českého Těšína
- 1.2 Řez mostovkou
- 1.3 Řez v místě nejbližší zástavby
- 1.4 Řez v místě sloupu trakčního vedení
- 2.1 Situace - Opava Kylešovice – val
- 2.2 Řez valem
- 2.3 Řez valem s gabionovou stěnou
- 3.1 Situace - Opava Kylešovice – protihluková stěna
- 3.2 Řez zastávkou a přístřeškem – navržena jedna betonová stěna
- 3.3 Řez zastávkou – navržena jedna betonová stěna
- 3.4 Řez zastávkou a přístřeškem – navržena stěna z PMMA
- 3.5 Řez zastávkou – navržena stěna z PMMA
- 3.6 Řez zastávkou a přístřeškem – navrženy betonové stěny po obou stranách trati
- 3.7 Řez zastávkou – navrženy betonové stěny po obou stranách trati
- 3.8 Řez zelení v km 2,150 00
- 3.9 Řez protihlukovou zdí v km 2,150 00